

Pengendalian *Ballast Water Treatment System* di MV. Federal Osaka

Ali Muktar Sitompul¹ ○ Aryanti Fitrianiingsih² ○ Arrya Dwi Laksana³

Abstrak: Dalam *ballasting* dan *deballasting* terjadi pertukaran air laut yang dapat menimbulkan ancaman bagi ekologi laut setempat. Oleh karena itu, IMO mengeluarkan konvensi internasional untuk pengendalian dan pengolahan *ballast water* sesuai dengan *ballast water management convention* 2009. Dari peraturan tersebut digunakannya alat yang bernama *Ballast Water Treatment System* untuk melakukan pengolahan air *ballast*. Kelancaran dalam pengoperasian *Ballast Water Treatment System* sangat penting karena berpengaruh terhadap kualitas air *ballast* agar tidak terjadi pencemaran air laut. Berdasarkan pengalaman Penulis, pada tanggal 20 Juni 2023, terjadi kegagalan dalam pengoperasian *Ballast Water Treatment System* yang menyebabkan proses *ballasting* tanpa menggunakan alat tersebut, sehingga berpengaruh terhadap kualitas air *ballast*. Tujuan penelitian ini guna mengetahui faktor penyebab, dampak dari kegagalan pengoperasian *Ballast Water Treatment System*, serta upaya yang dapat dilakukan untuk mengatasi masalah tersebut. Penelitian ini menggunakan metode deskriptif kualitatif dengan teknik analisis data RCA (*Root Cause Analysis*) 5 *why* guna memperoleh hasil akar penyebab dari penelitian yang dilakukan. Penelitian ini menunjukkan bahwa kegagalan pengoperasian alat tersebut disebabkan oleh kerusakan *UV Lamp*, *air filter positioner* dan *filtrex filter* yang tersumbat. Kegagalan pengoperasian tersebut dapat menyebabkan terjadinya endapan sedimen maupun lumpur pada tangki *ballast*. Upaya yang dapat dilakukan untuk mengatasi kegagalan tersebut adalah melakukan pergantian *UV Lamp* dengan *spare* yang ada di atas kapal, membersihkan *filtrex filter* dan *air filter positioner* agar pengoperasian dapat berjalan lancar.

Abstract: During ballasting and deballasting, there is a potential for exchange of seawater that can pose a threat to the local marine ecology. Therefore, the IMO has released an international convention for controlling and treating ballast water in accordance with the Ballast Water Management Convention 2009. This convention requires the use of a device called Ballast Water Treatment System to treat ballast water. The smooth operation of the Ballast Water Treatment System is crucial as it can affect the quality of ballast water, making sure there is no pollution of the sea water. Based on the author's experience, on June 20, 2023, there was a failure in operating the Ballast Water Treatment System which resulted in ballasting process without using the device, hence affecting the quality of ballast water. The purpose of this research is to identify the causes, impacts of the failure of the Ballast Water Treatment System, and the efforts that can be made to overcome the problem. This study uses a qualitative descriptive method with RCA (Root Cause Analysis) 5 why data analysis technique to obtain the root cause of the research. The research reveals that the failure of the device was caused by the damage of UV Lamp, air filter positioner, and clogged filterex filter. The failure of the device can lead to sediment or mud deposits in the ballast tank. The effort that can be made to overcome the failure is to replace the UV Lamp with

¹Ali Muktar Sitompul
Politeknik Ilmu Pelayaran Semarang,
Indonesia
Email: ali.muktar@pip-semarang.ac.id

²Aryanti Fitrianiingsih
Politeknik Ilmu Pelayaran Semarang,
Indonesia
Email: aryantifitrianiingsih1806@gmail.com

³Arrya Dwi Laksana
Politeknik Ilmu Pelayaran Semarang,
Indonesia
Email: arryadwilaksana03@gmail.com

the available spare on the ship, clean the filtrex filter and air filter positioner so that the operation can run smoothly.

Keywords: *ballasting, deballasting, ballast water treatment system, RCA.*

PENDAHULUAN

Kapal merupakan transportasi pengangkut barang maupun penumpang di laut dari satu tempat ke tempat lainnya. Kapal dirancang dan dibangun khusus untuk berlayar secara aman membawa muatan, ketika kapal berlayar tanpa muatan atau hanya memuat sebagian, kapal membutuhkan pemberat atau *ballast* sebagai stabilitas kapal agar kapal dapat berlayar secara aman dan efektif. Pada umumnya saat ini pemberat kapal menggunakan air laut. Untuk mempertahankan stabilitas kapal diperlukan penyesuaian tingkat kemiringan kapal dan *draft* kapal yang diakibatkan oleh perubahan muatan, untuk mengatasi masalah tersebut diperlukannya pengoperasian air ballast yaitu proses *ballasting* (proses pengisian air *ballast*) dan *deballasting* (proses pembuangan air *ballast*) agar dapat menjaga stabilitas kapal. Dalam proses pengisian air *ballast* dan proses pembuangan air *ballast* maka terjadi pertukaran air laut dari satu tempat ke tempat lainnya yang dapat menimbulkan ancaman bagi sistem ekologi laut setempat. Oleh karena itu, IMO (*International Maritime Organization*) mengeluarkan konvensi internasional untuk pengendalian dan pengelolaan air *ballast* dan sedimen kapal sesuai dengan *Ballast Water Management Convention 2009, Section D* tentang *Standard For Ballast Water Management*, dengan *Regulation D-1 (ballast water exchange standard)* dan *Regulation D-2 (ballast water performance standard)*.

Berdasarkan aturan tersebut digunakannya alat yang bernama *Ballast Water Treatment System* untuk melakukan pengelolaan air ballast secara efektif. *Ballast Water Treatment System (BWTS)* adalah sistem yang berguna untuk pemurnian atau perawatan air dalam proses *ballasting* dan *deballasting* dengan metode kimia, mekanik ataupun fisika yang dapat membunuh mikro organisme atau bakteri sehingga tidak bercampur ke dalam tangki *ballast*. (Satir, 2014). Seperti pada MV. Federal Osaka menggunakan metode mekanik dengan tipe *filtration* dan metode fisika dengan tipe *ultraviolet radiation* sebagai *ballast water treatment system* yang merupakan buatan dari Alva Laval, Tumba, Sweden. Berdasarkan pengalaman Penulis selama melaksanakan praktik laut di MV. Federal Osaka pada saat sandar di pelabuhan Australia pada tanggal 20 Juni 2023, terjadi kegagalan selama pengoperasian *Ballast Water Treatment System* yang menyebabkan proses *ballasting* tanpa menggunakan alat tersebut, sehingga berpengaruh terhadap kualitas air *ballast* yang kemudian memerlukan proses *ballast water exchange* sesuai dengan *Regulation D-1*. Cara tersebut kurang efektif karena dalam pelaksanaan *ballast water exchange* harus berada paling dekat 200 *nautical mile* dari daratan. Untuk itu perlunya perawatan *ballast water treatment system* agar proses *ballasting* dan *deballasting* dapat berjalan secara efektif dan efisien. Berdasarkan uraian di atas, Penulis bermaksud untuk mengkaji serta mengetahui tentang apa yang menyebabkan kegagalan pengoperasian sistem tersebut yang berpengaruh terhadap proses *ballasting* dan membuat Penulis tertarik untuk melakukan penelitian yang berjudul "Pengendalian *Ballast Water Treatment System* Di MV. Federal Osaka".

Dikarenakan pentingnya keberhasilan pengoperasian *Ballast Water Treatment System* dalam upaya perawatan air *ballast* yang berpengaruh terhadap kualitas air *ballast*. Maka pada rumusan masalah ini peneliti akan membahas tentang apakah faktor yang menyebabkan kegagalan pengoperasian *ballast water treatment system*, apa dampak dari kegagalan pengoperasian *ballast water treatment system*, dan bagaimana upaya untuk mengatasi kegagalan pengoperasian *ballast water treatment system*? Berdasarkan rumusan masalah di atas, maka terdapat beberapa tujuan yang akan dicapai oleh peneliti yaitu untuk mengetahui faktor yang menyebabkan kegagalan pengoperasian *ballast water treatment system*, untuk mengetahui dampak dari kegagalan pengoperasian *ballast water treatment*

system, untuk mengetahui upaya mengatasi kegagalan pengoperasian *ballast water treatment system*.

Ballast water atau air pemberat merupakan air dengan bahan tersuspensinya yang dibawa ke atas kapal untuk mengendalikan keseimbangan, kemiringan, kestabilan suatu kapal. (International Maritime Organization, 2009). Dampak dari *ballast water* dibagi menjadi 3 kategori, yaitu ekologi, ekonomis, dan kesehatan manusia. (Tsolaki & Diamadopoulos, 2010). *Ballast water management* merupakan proses mekanis, biologi, kimia, fisika, baik secara kombinasi ataupun tunggal untuk menghilangkan atau menjadikan tidak berbahaya, atau menghindari masuk dan keluarnya organisme akuatik dan patogen berbahaya dalam air *ballast*. (International Maritime Organization, 2009). Pengelolaan air *ballast* tersebut sesuai dengan *Ballast Water Convention 2009*, tentang *Standard For Ballast Water Management* dalam *Regulation D-1 (Ballast Water Exchange Standard)* dan *Regulation D-2 (Ballast Water Performance Standard)*.

Pertukaran air *ballast* yang dilakukan oleh kapal harus sesuai dengan peraturan dengan efisiensi paling sedikit 95 percent dari volumetrik air. Kapal yang melakukan BWE bila memungkinkan harus berada setidaknya 200 *nautical miles* dari daratan terdekat dan di perairan dengan kedalaman 200 meter dan mempertimbangkan aturan yang ditetapkan oleh organisasi. Jika kapal tidak dapat memenuhi syarat tersebut maka diperbolehkan melakukan BWE dalam jarak sejauh mungkin atau paling sedikit 50 *nautical miles* dari daratan terdekat dan dengan kedalaman setidaknya 200 meter. (International Maritime Organization, 2009). Ada tiga metode dalam melakukan BWE, yaitu metode *sequential*, metode *flow-through*, metode *dilution*. (Tjahjono, 2023).

Pengelolaan *ballast water* pada kapal berdasarkan *Regulation D-2* harus mengeluarkan kurang dari 10 organisme hidup per meter kubik dengan ukuran lebih besar atau sama dengan 50 mikrometer dalam dimensi minimum, dan tidak lebih dari 10 organisme hidup per mililiter dengan ukuran tidak lebih dari 50 mikrometer dalam dimensi minimum, dan lebih besar atau sama dengan 10 mikrometer dalam dimensi minimum, dan pembuangan mikroba harus sesuai dengan konsentrasi yang ditentukan. (International Maritime Organization, 2009). Ada indikator mikroba untuk standar keselamatan kesehatan manusia seperti pada table 1. (Duc Bui dkk., 2021).

Table 1. Indikator mikroba

Indikator Mikroba	Konsentrasi
<i>Vibrio cholerae</i> (O1 dan O139)	Kurang dari 1 unit pembentukan koloni (cfu) per 100 mL atau kurang dari 1 cfu per 1 g (wet weight) sampel zooplankton.
<i>Escherichia coli</i>	tidak lebih dari 250 cfu per 100 mililiter
<i>Intestinal enterococci</i>	tidak lebih dari 100 cfu per 100 mililiter

Ballast water treatment (BWT) merupakan tindakan yang digunakan untuk mengurangi risiko perpindahan organisme akuatik yang berbahaya agar dapat tercapai persyaratan standar pembuangan air *ballast*. Menurut Chen dkk. (2021) ada tiga metode yang digunakan dalam *ballast water treatment* yaitu:

1. Metode perawatan mekanis

a. Metode *filtration*

Metode ini sangat mudah dan efektif, namun beberapa virus atau bakteri yang sangat kecil membawa banyak masalah pada metode *filtration*.

b. Metode *Hydrocyclone separation*

Metode ini menggunakan prinsip perbedaan berat jenis antar zat menggunakan putaran *sentrifugal*. Metode ini menghilangkan sebagian besar mikroorganisme dan kekeruhan dari air laut.

c. Metode *dilution*

Ketika air *ballast* harus dibuang, air laut harus ditekan ke dalam tangki *ballast*. Penginjeksian yang terus menerus membuat air di tangki *ballast* menjadi encer dan dapat dibuang di pelabuhan bila standar telah tercapai.

d. Metode High-speed Flow

Metode ini dilakukan dengan cara merusak mekanis pada partikel mikroba besar menggunakan aliran berkecepatan tinggi. Namun, pengolahan dari metode ini tidak menyeluruh dan standar kinerja air ballast tidak tercapai.

2. Metode fisika

a. Metode *heating*

Metode ini menggunakan uap panas bertekanan yang digunakan untuk mensterilkan air *ballast*. Metode ini sangat kompetitif, tidak menghasilkan polusi apa pun dan tidak memerlukan terlalu banyak peralatan pemrosesan tambahan.

b. Metode *ultrasonic*

Metode ini menggunakan getaran gelombang *ultrasonic* frekuensi tinggi secara berkala menyebabkan gelembung mikro di dalam air mengembang dengan cepat dan kemudian pecah, menyebabkan *cavitation* suhu tinggi dan tekanan tinggi yang dihasilkan selama proses penghancuran.

c. Metode *ultraviolet*

Metode ini mengubah atau menghancurkan struktur DNA mikroorganisme melalui radiasi *ultraviolet*, sehingga membunuh bakteri atau menghancurkan kemampuan reproduksinya, dan mencapai tujuan sterilisasi. Ada 2 tipe dasar teknologi UV *lamp*, yaitu *UV Lamp* tekanan rendah dan tekanan sedang. (Nwigwe & Kiyokazu, 2023). Teknologi UV memiliki sejumlah keunggulan tersendiri karena tidak menghasilkan produk sampingan yang dapat membahayakan manusia atau kehidupan akuatik. (Joo dkk., 2020). Kelemahan utama dalam menggunakan UV adalah efektivitas teknologi perawatan UV terdiri dari beberapa fisik dan kondisi teknik. (Nwigwe & Kiyokazu, 2023). Penggunaan *UV Lamp* menunjukkan pengurangan laju pertumbuhan bakteri secara langsung namun sementara, pertumbuhan kembali meningkat 5 hari setelah pemaparan dan terus berlanjut. (Petersen dkk., 2019).

3. Metode *chemical*

a. *Ozone Treatment (O₃)*

Ozone merupakan salah satu bahan kimia yang digunakan sebagai pengolahan air *ballast* untuk membunuh organisme hidup dengan proses oksidasi. (Lakshmi dkk., 2021).

b. *Chlorine or Chloride*

Bahan ini merupakan bahan pengoksidasi unggul untuk membunuh mikroorganisme dalam air *ballast*. Namun, cara ini sering kali menghasilkan polusi sekunder dan menyebabkan korosi pada tangki *ballast*.

c. *Hydroxy Sterilization (OH)*

Bahan ini memanfaatkan keunggulannya dalam sifat pengoksidasian. Selama konsentrasi mencapai nilai tertentu, semua jenis bakteri dapat dibunuh tanpa terkecuali.

Ballast Water Treatment System (BWTS) Merupakan peralatan yang melakukan proses mekanis, biologi, kimia, fisika, baik secara kombinasi ataupun tunggal untuk menghilangkan atau menjadikan tidak berbahaya, atau menghindari masuk dan keluarnya organisme akuatik dan patogen berbahaya dalam air *ballast*. Dalam pengoperasiannya ada beberapa komponen dalam BWTS yang saling berkaitan, jika salah satu komponen tersebut rusak atau gagal beroperasi maka dapat menyebabkan terhambat bahkan kegagalan. ada beberapa hal yang mempengaruhi kerja dari sistem BWTS sehingga menjadikan kegagalan dalam pengoperasian sistem BWTS, seperti tidak nyalanya *UV Lamp*, *control valve* yang tidak terbuka, dan terjadi penyumbatan di *filter*.

METODE

Dalam penelitian ini, peneliti menggunakan metode penelitian deskriptif kualitatif. metode penelitian deskriptif kualitatif adalah metode penelitian yang berlandaskan pada filsafat pos positivisme, digunakan untuk meneliti pada kondisi obyek yang alamiah, di mana peneliti sebagai instrumen kunci, teknik pengumpulan data dilakukan secara gabungan, analisis data bersifat induktif, dan hasil penelitian lebih menekankan makna dari pada generalisasi. (Sugiyono, 2022). Penelitian ini dilakukan selama 12 bulan 4 hari saat peneliti melaksanakan praktik laut di MV. Federal Osaka. Bila dilihat dari sumber datanya, maka penumpulan data dapat menggunakan sumber primer dan sumber sekunder. Teknik pengumpulan data dapat dilakukan dengan observasi, wawancara, dokumentasi. (Khairani & Manurung, 2019). Pada penelitian deskriptif kualitatif, instrumen penelitian adalah peneliti itu sendiri. Dalam hal ini, manusia sebagai peneliti, bertindak sebagai alat bantu untuk mengumpulkan data yang dibutuhkan dalam penelitian. (Waruwu, 2023). Dalam penelitian ini, teknik analisis data penelitian menggunakan metode RCA (*Root Cause Analysis*) 5 why. *Root Cause Analysis* merupakan metode yang digunakan untuk dapat mengetahui kegagalan dari suatu sistem ataupun mesin. (Haq & Purba, 2020). Dalam penelitian ini, peneliti menggunakan uji kredibilitas data dengan triangulasi teknik pengumpulan data.

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Temuan

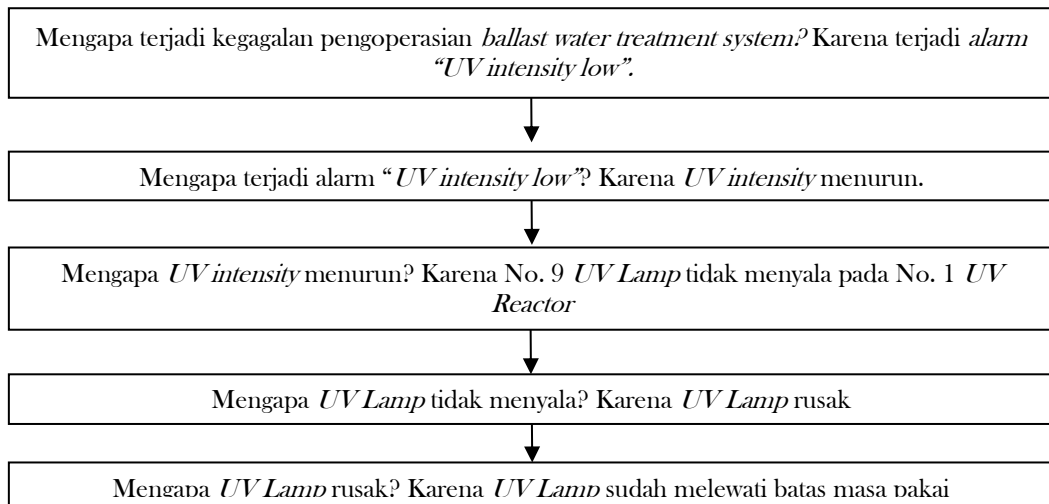
Ada beberapa faktor yang ditemukan selama observasi dan wawancara, yaitu:

- a. *UV Lamp* tidak menyala, proses menyalakan *UV Lamp* dalam pengoperasian BWTS merupakan salah satu syarat agar *UV Reactor* siap digunakan sebelum melakukan proses *ballasting* maupun *deballasting*, jika ada *UV Lamp* tidak menyala maka sistem akan otomatis berhenti karena hal tersebut tidak memenuhi *approval certificate*.
- b. *Control valve* tidak terbuka, *control valve* digerakkan oleh pneumatik actuator yang dikontrol oleh *positioner*. Jika terjadi penyumbatan pada *air filter* maka *control valve* tidak bisa bekerja normal. Setelah dilakukan penceratan terhadap *air regulator* ternyata banyak air dan minyak yang keluar dari lubang cerat *air regulator*. Hal tersebut merupakan penyebab penyumbatan yang terjadi di *air filter positioner* adanya air dan minyak pada *air regulator*.
- c. Perbedaan tekanan yang tinggi pada *filter*, Jika terjadi selisih atau perbedaan tekanan pada kedua *pressure transmitter* sebesar 0,5 bar akibat sedimen di dalam *filter* maka akan terjadi proses *backflush* secara otomatis yang berjalan selama 20 detik. Ketika perbedaan tekanan mencapai 3,0 bar pada kedua sensor, maka sistem akan otomatis berhenti dikarenakan perbedaan tekanan yang tinggi di dalam *filter*.

2. Pembahasan hasil penelitian

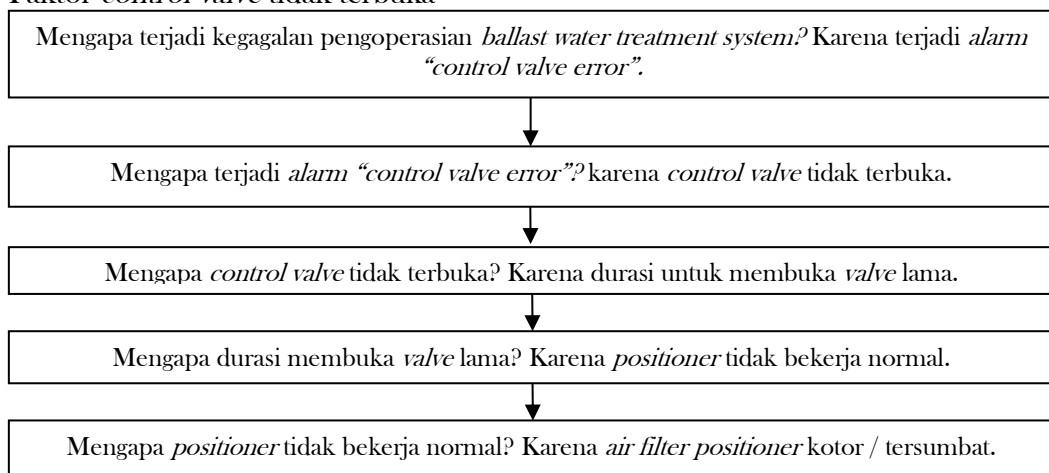
- a. Faktor *UV Lamp* tidak menyala

Dari gambar 1, terdapat akar masalah dari tidak menyalnya No. 9 *UV Lamp* pada No. 1 *UV Reactor* yaitu *UV Lamp* itu sendiri yang sudah rusak karena sudah melewati batas masa pakai yaitu 3000 jam kerja. Jika salah satu *UV Lamp* mati dalam pengoperasian yang sedang berlangsung, maka *UV intensity* akan menurun sehingga aliran air dari *ballast pump* harus dikurangi menjadi 80% dalam mode IMO dan 50% dalam mode USCG, jika aliran tidak dikurangi maka sistem akan otomatis berhenti.



Gambar 1. Analisis *UV lamp* tidak menyala

b. Faktor *control valve* tidak terbuka

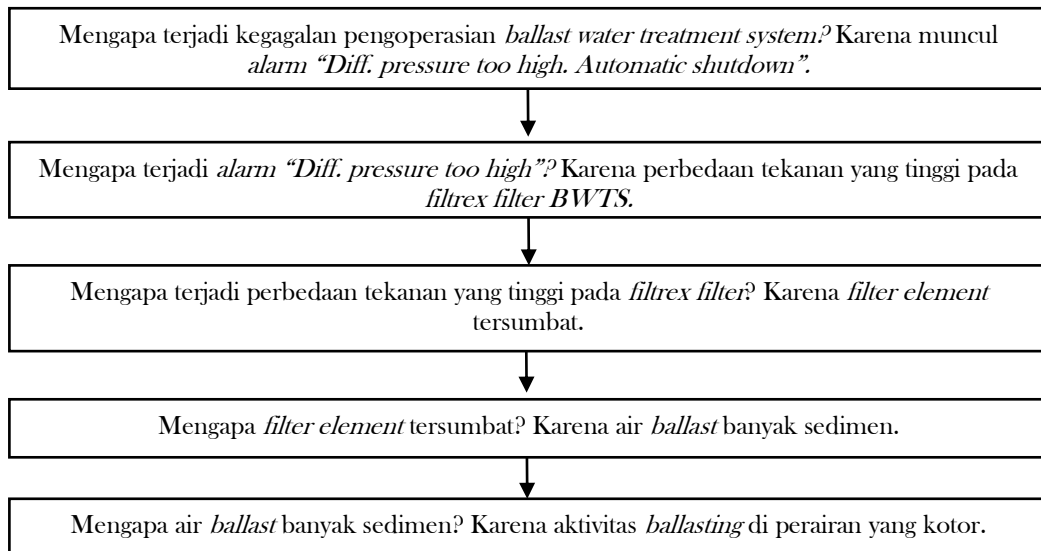


Gambar 2. Analisis *control valve* tidak terbuka

Berdasarkan gambar 2, terdapat akar permasalahan yaitu, *air filter positioner* tersumbat yang mengakibatkan lamanya durasi untuk membuka *valve*. Waktu normal yang digunakan untuk membuka *valve* yaitu 5 detik, jika dalam pengoperasiannya membutuhkan waktu lebih dari 10 detik, maka akan muncul *control valve error alarm* yang menyebabkan terhentinya proses pengoperasian *ballast*.

c. Faktor perbedaan tekanan yang tinggi pada *filter*

Berdasarkan gambar 3, perbedaan tekanan yang tinggi pada *filter* disebabkan oleh tersumbatnya *filter element*. Hal tersebut diakibatkan oleh aktivitas *ballasting* di perairan sungai yang banyak mengandung sedimen, dimana *sea chest strainer* hanya dapat menyaring sedimen yang berukuran maksimal 4 mm, hal tersebut mengakibatkan *air ballast* yang masuk ke sistem masih mengandung banyak sedimen, diketahui bahwa *filtrex filter* mempunyai spesifikasi 20µm atau 0,02 mm *wire mesh filter* sehingga semua sedimen tersebut menyumbat pada *filtrex filter*. Ketika *filter element* tersumbat maka, tekanan air yang masuk ke *filter* akan lebih besar dari pada air yang keluar dari *filter*. Jika perbedaan kedua tekanan tersebut mencapai 3,0 bar maka, secara otomatis *bypass valve* yang menuju ke tangki *ballast* akan terbuka dan sistem akan otomatis berhenti sedangkan pompa *ballast* harus dimatikan secara manual.



Gambar 3. Analisis perbedaan tekanan yang tinggi

Dampak dari kegagalan pengoperasian *ballast water treatment system* yaitu, terjadi endapan sedimen dan lumpur pada tangki ballast seperti pada gambar 4.



Gambar 3. Endapan sedimen dan lumpur
Sumber : dokumen pribadi

Upaya yang untuk mengatasi kegagalan pengoperasian *ballast water treatment system* yaitu:

- Melakukan pergantian *UV Lamp*, setelah melakukan pergantian pastikan ketersediaan *UV Lamp* yang ada di kapal masih cukup untuk melakukan pergantian semua *UV Lamp* yang sudah melewati batas masa pakai.
- Membersihkan *air filter* pada *positioner*, dengan cara tersebut *air supply* yang digunakan untuk membuka *control valve* akan berjalan normal sesuai dengan durasi parameter dari *manual book*.
- Membersihkan *filter element*, pembersihan tersebut dapat dilakukan secara manual dan kemudian dibersihkan menggunakan *water pressure*. Cara tersebut dilakukan ketika upaya pembersihan *filter* dengan menggunakan teknik *backwash* tidak berpengaruh terhadap kebersihan dari filter itu sendiri.

SIMPULAN

Faktor yang menyebabkan kegagalan pengoperasian *ballast water treatment system* adalah kerusakan pada *UV Lamp* yang dikarenakan sudah melewati masa batas pakai lampu, *control valve* tidak terbuka yang dikarenakan tersumbatnya *air filter positioner*, penyumbatan pada *filtrex filter* yang disebabkan oleh sedimen yang terbawa oleh air *ballast*.

Dampak dari kegagalan tersebut yaitu terjadinya endapan sedimen dan lumpur pada tangki *ballast*. Upaya yang dapat dilakukan yaitu melakukan pergantian *UV Lamp*, melakukan pembersihan *air filter* dan *filtrex filter*.

DAFTAR PUSTAKA

- Alfa Laval. (2020). *PureBallast Ballast Water Treatment System Manual Book*. Alfa Laval Tumba AB.
- Chen, N., Yang, Z., & Luo, W. (2021). *Development and Implementation of Ship BWMS*. Springer Singapore. <https://doi.org/10.1007/978-981-33-6865-1>
- Duc Bui, V., Phong Nguyen, P. Q., & Tuyen Nguyen, D. (2021). *A study of ship ballast water treatment technologies and techniques*. *Water Conservation & Management*, 5(2), 121-130. <https://doi.org/10.26480/wcm.02.2021.121.130>
- Firrizqi, H. (2023). *Optimalisasi Penerapan Ballast Water Treatment System di MV. Federal Osaka*. Politeknik Ilmu Pelayaran Semarang.
- Haq, I. S., & Purba, M. A. (2020). *Kajian Penyebab Kerusakan Door Packing pada Tabung Sterilizer Menggunakan Metode Root Cause Analysis (RCA) di Sungai Kupang Mill*. *Jurnal Vokasi Teknologi Industri (JVTI)*, 2(2). <https://doi.org/10.36870/jvti.v2i2.177>
- Hatmoko, B. D. (2019). *Upaya Penggunaan Ballast Water Management System Dalam Pengoperasian Ballast Guna Mencegah Pencemaran Air Laut di MV. Glovis Diamond*. Politeknik Ilmu Pelayaran Semarang.
- International Maritime Organization. (2009). *Ballast Water Management Convention and the Guidelines for its implementation* (2009 ed.). International Maritime Organization. London.
- Joo, J., Jung, G., Oh, I., & Rhee, T. (2020). *Validation test on real scale UV reactor for ballast water treatment*. *Environmental Engineering Research*, 26(1). <https://doi.org/10.4491/eer.2019.455>
- Khairani, A. I., & Manurung, W. R. A. (2019). *Metodologi Penelitian Kualitatif Case Study*. Trans Info Media. Jakarta Timur.
- Lakshmi, E., Priya, M., & Achari, V. S. (2021). *An overview on the treatment of ballast water in ships*. *Ocean & Coastal Management*, 199, 105296. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2020.105296>
- Mitsui E&S Shipbuilding Co., Ltd. (2020). *Diagram of General Piping In Engine Room*. Mitsui E&S Shipbuilding Co., Ltd.
- Nwigwe, T., & Kiyokazu, M. (2023). *Review study of ballast water treatment system: Review of ballast water treatment system technologies*. *Journal of Maritime Research*. Vol XX. No. I
- Petersen, N. B., Madsen, T., Glaring, M. A., Dobbs, F. C., & Jørgensen, N. O. G. (2019). *Ballast water treatment and bacteria: Analysis of bacterial activity and diversity after treatment of simulated ballast water by electrochlorination and UV exposure*. *Science of The Total Environment*, 648, 408-421. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.08.080>
- Satir, T. (2014). *Ballast water treatment systems: Design, regulations, and selection under the choice varying priorities*. *Environmental Science and Pollution Research*, 21(18), 10686-10695. <https://doi.org/10.1007/s11356-014-3087-1>
- Sugiyono. (2022a). *Metode Penelitian Kualitatif (ketiga)*. Alfabeta. Bandung.

- Sugiyono. (2022b). *Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif, dan R&D (kedua)*. Alfabeta. Bandung.
- Tjahjono, A. (2023). *Sistem Pengelolaan Air Ballast Kapal Niaga*. UNNES Press. Semarang.
- Tsolaki, E., & Diamadopoulos, E. (2010). *Technologies for ballast water treatment: A review*. *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*, 85(1), 19-32. <https://doi.org/10.1002/jctb.2276>
- Waruwu, M. (2023). *Pendekatan Penelitian Pendidikan: Metode Penelitian Kualitatif, Metode Penelitian Kuantitatif dan Metode Penelitian Kombinasi*. 7.