

Desain Ballast Water Treatment System Kapal Sesuai Standar IMO

Naufal Adi Hidayah^{1*}, Eko Julianto², Lely Pramesti³

Program Studi D4 Teknik Permesinan Kapal, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Indonesia^{1*3}

Program Studi D4 Teknik Perpipaian, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Indonesia²

Email: adi.hidayah@student.ppns.ac.id^{1*}; ekojulianto@ppns.ac.id^{2*}; lelypramesti@ppns.ac.id^{3*}

Abstract - The ballast water system are important to maintain ships's stability during voyage especially when ship not carrying any cargo. The exchange of ballast water were considered as the main cause of microorganism and bacterias spreading that damaging port water ecosystems. To prevent the damage from harmful microorganism and bacterias on ballast water discharge, in 2004 International Maritime Organization (IMO) established and adopted Ballast Water Management Convention (BWMC). Before complying with IMO BWMC standard, MT Gunung Geulis's existing ballast water system were evaluated and the result says that MT Gunung Geulis are not compatible with IMO BWMC standard because still using ballast water exchange method to manage their ballast water. To comply with IMO BWMC standard, MT Gunung Geulis need to added ballast water treatment system (BWTS). Based on journal review to comparing BWTS treatment methods says that filtration + electrolysis method giving the highest efficiency on removing microorganism and bacterias from ballast water. BWTS unit installed on MT Gunung Geulis had three main equipment, filtration unit, electrolysis unit and neutralizer unit from Ocean Guard to be located on turbine and partial deck Filtration unit and electrolysis unit are operated on ballasting process and neutralization unit injecting neutralizer on deballasting process..

Keyword : Ballast Water, International Maritime Organization (IMO), Ballast Water Treatment System, Filter + electrolysis.

Nomenclature

| | |
|-------------------|---------------------------------------|
| µm | : Mikrometer |
| PSU | : Tingkat salinitas air |
| °C | : Suhu/temperatur |
| CFU/ml | : Unit pembentuk koloni per mililiter |
| m | : Meter |
| m ³ | : Volume |
| m ³ /h | : Debit/kapasitas pompa |
| v | : Kecepatan angin (m/s) |

1. PENDAHULUAN

Ballast water system adalah pemanfaatan air laut yang digunakan oleh kapal dengan tujuan untuk menjaga stabilitas kapal pada saat berlayar. Pertukaran ballast water ini merupakan salah satu jalur utama penyebaran mikroorganisme dan bakteri. Untuk mengontrol ancaman bahaya dari penyebaran melalui pertukaran ballast water ini maka International Maritime Organization (IMO) mengeluarkan Ballast Water Management Convention (BWMC) pada tanggal 13 Februari 2004. BWMC mengatur dua standar manajemen ballast water yaitu pertukaran dan treatment ballast water dalam mencegah persebaran spesies invasif yang tertuang pada aturan D-1 dan D-2. Standar D1 mengharuskan kapal untuk melakukan pertukaran ballast water sejumlah minimal 95% volume keseluruhan ballast water yang dibawa. Standar D2 mengatur standar kontaminasi mikroorganisme dan bakteri pada ballast water dengan metode menggunakan Ballast Water Treatment System (BWTS). [1]

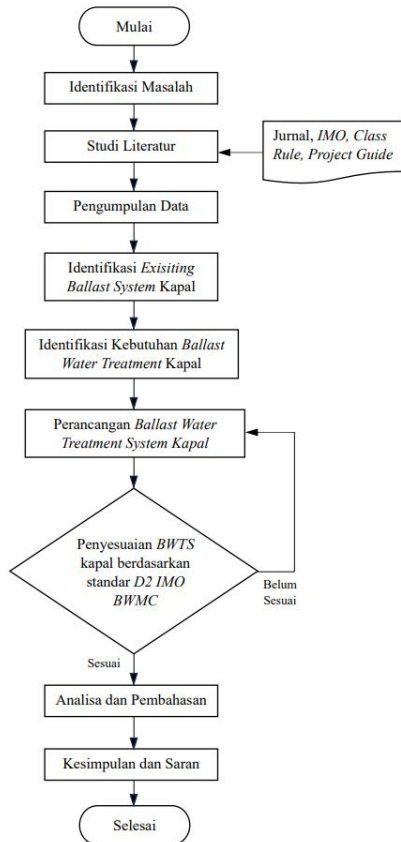
BWTS yang seperti dimaksud oleh IMO adalah dimana ballast water akan mengalami

serangkaian treatment di dalam sistem ballast sebelum air tersebut dikeluarkan atau dimasukkan tangki ballast. Ada beberapa metode treatment ballast water berdasarkan teknik yang digunakan, metode fisik seperti filtrasi, heat treatment dan UV serta metode kimia seperti electrolysis, chemical injection dan neutralization. Pemilihan metode BWTS dilakukan berdasarkan kondisi perairan negara asal dan negara tujuan kapal.

Sebagai negara yang mengesahkan BWMC Indonesia mewajibkan manajemen ballast water kepada kapal dengan bendera registrasi Indonesia, baik kapal baru ataupun kapal lama. Kapal-kapal tersebut perlu memenuhi standar D2 BWMC sebelum tanggal survei IOPP selanjutnya pada 8 September 2024. Sebagai kapal yang sebelumnya menggunakan metode ballast water exchange untuk memenuhi D1, maka perlu dilakukan evaluasi pada sistem ballast dengan menambahkan perangkat BWTS sesuai dengan ketentuan D2 IMO BWMC.

2. METODOLOGI

Tahapan pelaksanaan penelitian pada tugas akhir ini disusun menjadi diagram alir penelitian sebagai berikut :



Gambar 1 Diagram Alir Penelitian

2.1 IMO BWMC

Ballast Water Exchange (BWE) adalah metode *BWMC* dengan menukar *ballast water* di kapal yang diambil dari asal pelayaran kapal di dengan air yang diambil pada lautan lepas. Menurut standar D1 dari *IMO BWMC*, setiap kapal harus melakukan penggantian paling sedikit 95% dari *ballast water* yang dibawa [2]. Pada kapal yang menggunakan metode *pumping-through* diharuskan mengganti *ballast water* sebanyak tiga kali volume dari masing-masing tangki *ballast water*. Pertukaran *ballast water* ini dilakukan pada jarak 200 mil laut dari daratan dan pada kedalaman 200 meter.

IMO BWMC telah menyetujui beberapa metode *ballast management* seperti *ballast water exchange* dan *ballast water treatment*. Strategi perlakuan dan manajemen yang berbeda telah diterapkan secara internasional di kapal sesuai dengan ratifikasi *IMO BWMC*. Regulasi D2 menetapkan batas maksimum dari kontaminasi organisme hidup di dalam *ballast water* dan berpotensi merugikan perairan. Standar regulasi hanya berfokus pada pembuangan organisme yang terlihat (*viable organism*) hal ini untuk

mencegah reproduksi dan penyebaran organisme baru tersebut di perairan yang baru.

Tabel 1. Standar discharge for ballast water

| Category | IMO Standard |
|---------------------------------------|--|
| $\geq 50 \mu\text{m}$ (zooplankton) | < 10 viable organisms per m^3 |
| 10 – 50 μm (Phytoplankton) | < 10 viable organisms per ml |
| <i>Vibrio Cholerae</i> | < 1 CFU/100 ml |
| <i>E. Coli</i> | < 250 CFU/100 ml |
| <i>Intestinal Enterococi</i> | < 100 CFU/100 ml |

2.2 BWTS Metode Electrolysis

Electrolysis adalah teknologi desinfeksi kimia yang paling umum digunakan dalam *ballast water* sistem pengobatan. Sistem elektro klorinasi biasanya menggunakan filtrasi pra-perawatan dan mengolahnya air satu kali selama pemberat. Air laut dilewatkan melalui sel elektrolitik, di mana arus searah menghasilkan klorin dan gas hidrogen. Gas klorin segera dilarutkan dalam air untuk menghasilkan germisida *natrium hipoklorit (NaOCl)* dan *bromin hipoklorit (BrOCl)*, yang menetralkan mikroorganisme. Elektrolisis adalah cara yang sangat efektif untuk menonaktifkan mikroorganisme dan bakteri. Namun, mayoritas sistem elektrolisis menghasilkan *TRO* dalam jumlah yang bervariasi saat beroperasi. Inaktivasi biologis *BWMS* berbasis elektrolisis mencapai standar kinerja D-2 Konvensi *Ballast water* ketika tingkat *TRO* sekitar 7,5–9,5 mg/L sebagai Cl_2 [2].

2.3 Perancangan Sistem Ballast Water Treatment pada Kapal

Pada tahap ini, langkah yang akan dilakukan adalah perancangan sistem ballast di kapal. Dengan pemasangan alat filtrasi *ballast water*, pasti akan mengubah desain sistem ballast sehingga membutuhkan analisa teknikal agar sesuai dengan standar teknikal yang telah dicari dalam tahap studi literatur. Selain desain sistem ballast, pada tahap ini juga akan dianalisis penambahan peralatan apa saja yang dibutuhkan untuk mendukung agar sistem dapat berfungsi secara optimal sehingga memenuhi standar yang telah ditetapkan.

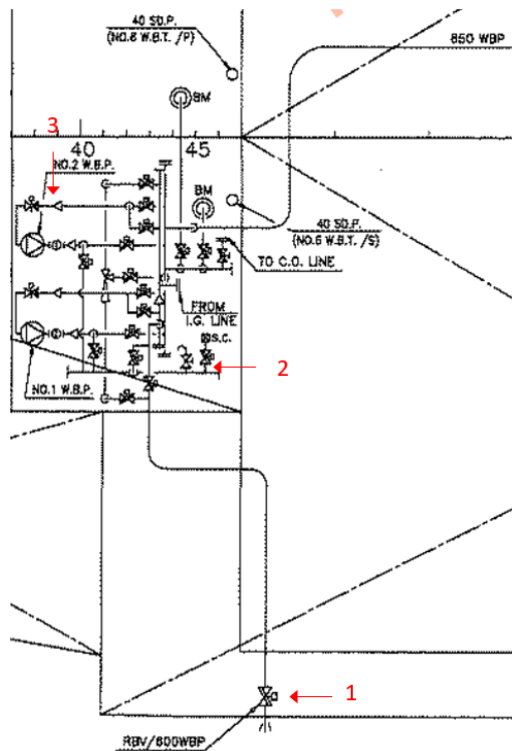
2.4 Penyesuaian Ballast Water Treatment System

Perancangan Sistem *Ballast Water Treatment* pada kapal memungkinkan adanya perubahan pada cara kerja sistem. *Treatment* air laut pada sistem *Ballast Water Treatment* juga memerlukan waktu dan volume spesifik saat pengoperasiannya, sehingga perlu dibuatkan plan yang menyesuaikan antara kebutuhan *treatment* dengan *cargo loading sequence* yang sudah ada sebelumnya pada kapal.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Evaluasi Existing Ballast Water System

Dalam Chapter 25 [3] : *Ballast Water Treatment System and Installation, Lloyd Register* telah menjelaskan tentang peraturan tentang machinery dan perlengkapan yang harus dipenuhi dalam pemasangan unit BWTS secara umum maupun secara spesifik menurut metode yang diaplikasikan. Evaluasi dilakukan pada *existing ballast system* terhadap *rules* Lloyd Register chapter 25. Hasil dari evaluasi ditampilkan pada Gambar 2 dan Tabel 2.



Gambar 2. Evaluasi existing ballast water system

Tabel 2. Evaluasi existing ballast water system

| No | Reference | Deskripsi |
|----|---|--|
| 1 | LR 2022, Pt.3, Ch.11, 4.2.16 LR 2022, Pt.3, Ch 12, 4.2.1 | Belum ada pemasangan <i>Non Return Valve</i> pada jalur pembuangan ke <i>overboard</i> sehingga perlu mengganti <i>RBV Ball Valve</i> dengan <i>Non Return Valve</i> |
| 2 | LR 2022, Pt. 5, Ch 12, 11.7.7 | Belum ada <i>strainer</i> pada <i>sea water inlet</i> sehingga perlu ditambahkan <i>strainer</i> pada <i>sea water inlet</i> |
| 3 | LR 2022, Pt. 5, Ch 25, 13.1 | Kapal belum memiliki unit <i>treatment ballast water</i> , maka apabila akan ditambahkan <i>BWTS</i> maka <i>primary unit</i> akan diletakkan setelah <i>ballast pump</i> secara <i>bypass</i> |

3.2 Parameter Air Port of Singapore

Pada penelitian yang dilakukan oleh [4] melakukan pengujian 131 sampel air dikumpulkan dari delapan lokasi pesisir perairan

singapura. Pembacaan hasil dari nilai minimum, maximum, rata-rata dan standar deviasi ditampilkan pada Tabel 3. Sebagai negara yang berada pada *equatorial region*, suhu air yang didapatkan relatif konstan pada rata-rata 29,68 C, begitupun dengan PH air yang mendekati netral pada rata-rata 7,84 dan nilai salinitas air pada rata-rata 28.95 ppt. Tiga parameter lingkungan air tersebut digunakan untuk menjadi acuan dalam memilih unit *treatment* yang memiliki standar operasi pada rentang tersebut.

Tabel 3. Parameter air port of singapore

| Parameter | Value |
|---------------------------------|-------------------|
| <i>Environmental Parameters</i> | |
| Temperature | 29.68 °C |
| Ph | 7.84 |
| Salinity | 28.95 PSU |
| <i>Microbial Indicators</i> | |
| Total coliform | 3620.18 CFU/100ml |
| E. Coli | 356.68 CFU/100ml |
| Enterococcus | 361.60 CFU/100ml |

3.3 Metode Ballast Water Treatment

Pada tahun 2020, [5] melakukan penelitian dalam implementasi *BWMC* yang tepat untuk melindungi lingkungan perairan dari invasi oleh organisme yang disebabkan oleh pertukaran *ballast water*. Data diambil dari tiga kapal yang menggunakan tiga metode berbeda filter + *UV*, *electrolysis* dan filter + *electrolysis*. Penelitian dilakukan pada perairan dengan rentang temperature pada 21°C hingga 30 °C, salinitas pada 20 psu – 33.9 psu dan pH pada 6.6 - 7.9. Dari hasil penelitian diatas, metode filter + *electrolysis* memiliki tingkat kontaminasi paling rendah dalam memenuhi standar regulasi D2 *IMO BWMC*.

Penelitian lain dilakukan oleh [6] dan [7] terhadap laju pertumbuhan kembali mikroorganisme dan bakteri pada *ballast water*. Penelitian oleh [6] menyimpulkan bahwa metode *electrolysis* dapat menghambat pertumbuhan kembali mikroorganisme dan bakteri hingga 20 hari dan penelitian oleh [7] menyimpulkan bahwa metode *electrolysis* mampu mengurangi lebih banyak bakteri dan mikroorganisme pada *discharge water* lebih banyak daripada metode *UV*.

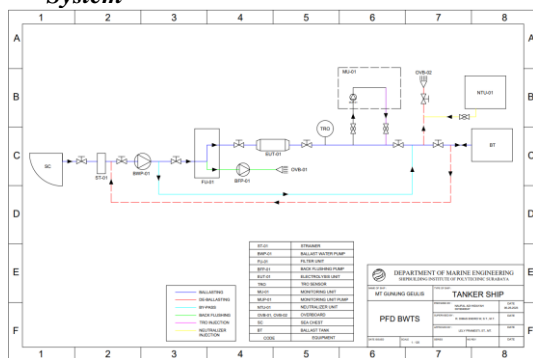
Setelah dilakukan *literature review* terhadap empat penelitian tentang efektivitas dan performa metode *treatment*, keempat penelitian tersebut mengambil kesimpulan bahwa metode *electrolysis* memiliki tingkat efektivitas yang paling baik dalam memenuhi standar regulasi D2 *IMO BWMC*. Maka dari itu penelitian ini selanjutnya akan berfokus pada filter + *electrolysis* sebagai metode *treatment ballast water* dalam memenuhi standar regulasi D2 *IMO BWMC*.

3.4 Unit Ballast Water Treatment System

BWTS unit yang akan digunakan pada kapal MT Gunung Geulis adalah *electrolysis unit* keluaran dari *Ocean Guard Ballast water Management System*. Alasan pemilihan unit dari *Ocean Guard* adalah kapasitasnya dalam menangani kapasitas ballast kapal MT Gunung Geulis yang mana unit ini memiliki *Treatment Rated Capacity* hingga 3900 m³/h serta performa unit *electrolysis unit* dalam membunuh mikroorganisme dan bakteri yang ada di dalam *ballast water* [8]. BWTS unit dari terdiri dari tiga komponen utama yaitu *Filtration Unit*, *Electrolysis Unit*, & *Neutralization Unit* [9].

Filtration unit dan *electrolysis unit* diletakkan pada turbine & partial deck antara frame 21-47. *Filtration unit* diletakkan berurutan dengan *electrolysis unit* berdekatan dengan motor pompa ballast untuk memudahkan dalam modifikasi jalur pipa yang sudah ada. Untuk *neutralization unit* diletakkan pada deck yang sama namun antara frame. *Neutralizer* diletakkan sedekat mungkin dengan *overboard* untuk memudahkan instalasi injeksi *neutralizer* pada jalur buang *discharge overboard*.

3.5 Pengoperasian Ballast Water Treatment System



Gambar 3. PFD BWTS pada kapal

3.3.1 Proses Ballasting

Proses *treatment* dari *ballast water* menggunakan metode filter + *electrolysis* terjadi pada fase *ballasting* air ke dalam kapal. Komponen utama pada proses *treatment ballasting* ini adalah *ballast pump*, *filter unit*, *electrolysis unit*, *TRO sensor*, dan *monitoring unit*. Berikut cara kerja proses *treatment ballasting* dijelaskan secara berurutan :

- (1) *Ballast Water Pump* akan memompa *ballast water* dari seachest menuju ke *Filtration Unit (FU)*
- (2) *Ballast water* akan melalui strainer terlebih dahulu untuk menyaring benda padat dengan ukuran besar akan tidak menyumbat jalur pipa ballast

(3) *FU* akan memisahkan mikroorganisme dari *ballast water*. *Ballast water* yang telah bersih akan dialirkan menuju *Electrolysis Unit (EUT)*, sedangkan mikroorganisme yang terperangkap oleh meshing filter akan dialirkan menuju *Overboard (OVB)* oleh *back flushing pump (BFP)*

(4) *EUT* akan mencampur *ballast water* dengan *chlorine* yang dihasilkan dari proses *electrolysis* untuk membunuh mikroorganisme kecil dan bakteri yang masih ada pada *ballast water* sebelum dialirkan ke dalam tangki ballast

3.3.2 Proses De-Ballasting

Penambahan perangkat pada proses *deballasting* berupa *neutralizer unit* yang terhubung dengan *overboard* untuk menginjeksikan cairan *neutralizer* pada jalur *discharge overboard*. Proses *deballasting* kapal setelah dipasang unit *BWTS electrolysis* tidak mengalami banyak perubahan. Cairan *neutralizer* akan dialirkan oleh *neutralizer unit* dan diinjeksikan ke aliran *deballasting ballast water* sebelum keluar melalui *overboard*. Jumlah *neutralizer* yang diinjeksikan dikontrol dari monitoring unit berdasarkan pembacaan *TRO sensor*. Semakin tinggi kandungan *TRO* yang terlarut pada *ballast water*, maka jumlah *neutralizer* yang diinjeksikan juga semakin banyak

3.3.3 Aliran By-Pass

Aliran *by-pass* adalah perpipaan yang disiapkan untuk mencegah terganggunya proses *ballasting* dan *deballasting* kapal apabila ada kesalahan atau kerusakan pada salah satu alat *BWTS electrolysis*. Aliran *by-pass* pada proses *ballasting* akan mengubah aliran dari *BWP* tidak melalui *filtration unit*, melainkan langsung dialirkan menuju *ballast water*, hal ini dilakukan demi menjaga fungsi utama *ballast water* sebagai penyeimbang kapal saat dilakukannya bongkar muat. Sedangkan pada proses *deballasting* air dari tangki ballast yang dipompa oleh *BWP* akan dialirkan melalui jalur *by-pass* yang sama dengan proses *ballasting* langsung menuju *overboard*.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dengan mengevaluasi sistem ballast pada kapal dan melakukan literature review mengenai teknologi *ballast water treatment* dapat disimpulkan bahwa :

1. *Existing ballast water system* pada kapal MT. Gunung Geulis belum memenuhi standar regulasi D2 *IMO BWMC* karena belum dilengkapi dengan *ballast water treatment system*

2. Menurut hasil dari beberapa *journal review* metode *ballast water treatment* dengan filter + *electrolysis* dinilai mampu membunuh dan mencegah pertumbuhan Kembali mikroorganisme dan bakteri pada parameter air *port of singapore*.
3. Desain dari *ballast water treatment system* mampu mengurangi patogen berbahaya sesuai standar regulasi D2 *IMO BWMC* dengan menambahkan peralatan : *Filtration Unit, Electrolysis Unit, Neutralization Unit*, dan penambahan jalur *bypass* pada perpipaan *ballast water*.
4. Pada kapal MT Gunung Geulis *Ballast Water Exchange* diubah menjadi *Ballast Water Treatment System*. Dimana proses *ballast treatment* dilakukan pada saat *ballasting* dengan filter dan *electrolysis unit* dan menginjeksikan *neutralizer* pada saat *deballasting*. Lama waktu pengoperasian *BWTS* bergantung pada durasi pengoperasian *ballasting* atau *deballasting* kapal.

5. UCAPAN TERIMAKASIH

1. Allah SWT atas berkat, rahmat, dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian ini dengan aman, selamat, lancar, dan barokah.
2. Orang tua yang telah membesarkan penulis, membiayai sekolah penulis, selalu memberikan banyak nasehat, semangat, doa, kasih sayang, dan meteri yang tidak dapat penulis ucapkan satu persatu.
3. Bapak Ir. Eko Julianto, M.Sc., FRINA sebagai Dosen Pembimbing I yang telah memberikan bimbingan dan banyak ilmu baru yang penulis peroleh dari penyelesaian Tugas Akhir.
4. Ibu Lely Pramesti, ST., M.T. sebagai Dosen Pembimbing II yang telah memberikan bimbingan dan banyak ilmu baru yang penulis peroleh dari penyelesaian Tugas Akhir.
5. Teman – teman seperjuangan mahasiswa Teknik Permesinan Kapal Angkatan 2019 yang menjadi keluarga dan saling mendukung selama kuliah.

6. PUSTAKA

- [1] International Maritime Organization, “Resolution MEPC.300(72),” *Code Approv. ballast water Manag. Syst.*, vol. 300, no. April, pp. 1–41, 2018.
- [2] MEPC, “Guidelines for Approval of Ballast Water Management System (G8),” *MEPC.279(70)*, vol. I, no. 02, pp. 390–392, 2016.
- [3] Lloyd’s, “Rules and Regulations for the Classification of Ships - Notice No. 9,” *Lloyd’s Regist.*, no. July, 2022.
- [4] S. G. Goh *et al.*, “Occurrence and distribution of bacteria indicators, chemical tracers and pathogenic vibrios in Singapore coastal waters,” *Mar. Pollut. Bull.*, vol. 114, no. 1, pp. 627–634, 2017, doi: 10.1016/j.marpolbul.2016.09.036.
- [5] P. G. Jang, B. Hyun, and K. Shin, “Ballast water treatment performance evaluation under real changing conditions,” *J. Mar. Sci. Eng.*, vol. 8, no. 10, pp. 1–19, 2020, doi: 10.3390/jmse8100817.
- [6] P. P. Stehouwer, A. Buma, and L. Peperzak, “A comparison of six different ballast water treatment systems based on UV radiation, electrochlorination and chlorine dioxide,” *Environ. Technol. (United Kingdom)*, vol. 36, no. 16, pp. 2094–2104, 2019, doi: 10.1080/09593330.2015.1021858.
- [7] N. B. Petersen, T. Madsen, M. A. Glaring, F. C. Dobbs, and N. O. G. Jørgensen, “Ballast water treatment and bacteria: Analysis of bacterial activity and diversity after treatment of simulated ballast water by electrochlorination and UV exposure,” *Sci. Total Environ.*, vol. 648, pp. 408–421, 2019, doi: 10.1016/j.scitotenv.2018.08.080.
- [8] MEPC, “Resolution MEPC 60/2/8,” *Appl. Basic Approv. Ocean. Ballast Water Manag. Submitt. by Norw.*, vol. 24, no. 4, pp. 713–725, 2009, doi: 10.1163/092735209X12499043518304.
- [9] OceanGuard, “User Manual User Manual,” *User Man. HMT1000 - HMT2000*, vol. 3304, no. January, pp. 1–148, 2021.