

Analisis performa mesin *oily water separator* tipe CYF-1.OY pada pembangunan kapal baru 2000 GT dengan metode eksperimen

Budi Utomo¹, Sulaiman¹, Sunarso Sugeng¹, Mohd. Ridwan¹, Samuel Febriary Khristyson¹

¹Departemen Teknologi Industri Sekolah Vokasi, Universitas Diponegoro
Prof. Sudarto, Tembalang, Kec. Tembalang, Kota Semarang, Jawa Tengah, 50275
Email korespondensi: budiutomo_undip@yahoo.com

Abstrak

Untuk kelancaran pengoperasian *Oily water separator*, perawatan dan perbaikan harus dilakukan secara berkala agar tidak mengganggu pengoperasian kapal. Tujuan artikel ini adalah untuk menganalisis unjuk kerja mesin *Oily Water Separator* tipe CYF-1.OY pada proyek pembangunan kapal 2000 GT. Metode Eksperimen yang digunakan untuk menentukan kinerja mesin dan mengasumsikan pendekatan koreksi penilaian. Hasil dari performa mesin, waktu kerja mesin berbanding lurus dengan volume kapasitas sampah sehingga semakin banyak volume maka waktu yang dibutuhkan semakin lama tergantung. Efisiensinya hampir sama artinya hasil di bawah 5% dan masih dalam relevansi. Dalam pengoperasian dan penyetelan *Oily Water Separator* diperlukan pengamatan dan perhatian yang lebih, terutama untuk tampilan dan kapasitas spesifikasi mesin.

Kata kunci: performa, eksperimen, *oily water separator*, pembangunan kapal, marpol.

Abstract

For the ideal operation of the *oily water separator*, maintenance and repairs should be carried out regularly so as not to interfere with the operation of the ship. The purpose of this article is to analyze the performance of the *Oily Water Separator* engine type CYF-1.OY on the 2000 GT ship building project. Experiment method used to determine the performance of the machine and assuming evaluation correction approach. The result of engine performance, time the machine works is directly proportional to the volume of waste capacity so that the more volume, the longer it takes depending. The efficiency is similar, meaning that the results are below 5% and are still in relevance. In operating and adjusting the *Oily Water Separator*, more observation and attention is needed, especially for the display and capacity of the machine.

Keywords: performance, experiment, *oily water separator*, ship building, marpol.

1. Pendahuluan

Dengan perkembangan dunia maritim yang semakin maju dan bertambahnya jumlah kapal maka akan sangat mempengaruhi kepadatan jalur transportasi laut sehingga berdampak pada pencemaran laut yang tinggi, akibat limbah yang dikeluarkan dari kapal terutama limbah yang mengandung minyak. [1, 2, 3]. Tidak dapat dipungkiri bahwa setiap kapal pasti menghasilkan air limbah, terutama di ruang mesin. Air limbah pada akhirnya akan dibuang ke laut tetapi harus dijaga agar tidak terjadi pencemaran laut akibat pembuangan limbah tersebut [4]. Menurut konvensi MARPOL 73/78 Annex 1 untuk kapal tanker berukuran >150 GRT (selain kapal tanker berukuran > 400 GRT) dan *Marpol Consolidate 2006 Annex 1 Regulation 32 "Oil/Water interface Detector"* dan *Regulation 34 "Control Of Discharge Of Oil"* ruang mesin harus dilengkapi dengan pemisah air minyak sebagai media pemisah antara air dan minyak [5]. Persyaratan air limbah bangunan yang boleh dibuang ke laut tidak melebihi 15 ppm asalkan kapal sedang dalam perjalanan, 12 mil dari daratan dan melihat arah angin dan arah arus yang tidak menuju ke daratan [6]. Untuk kelancaran pengoperasian *Oily water separator*, perawatan dan perbaikan harus dilakukan secara berkala agar tidak mengganggu pengoperasian

kapal. Salah satu penyebab kurang optimalnya kinerja *Oily water separator* adalah kurangnya perawatan. Salah satu organisasi dunia bidang pelayaran maritim yaitu IMO telah menetapkan peraturan yang berkaitan dengan tata cara dan tata cara pembuangan limbah kapal beserta sanksi bagi kapal yang melanggar regulasi tentang kelestarian lingkungan. Pencemaran dari sebuah kapal dengan membuang hasil limbah oli ke laut dapat memberikan dampak pengaruh yang buruk bagi keseimbangan lingkungan hidup di lautan. Sehingga hal ini merupakan kerugian bagi kapal dan perusahaan pelayaran, maka kini setiap kapal dilengkapi dengan peralatan yang dapat memisahkan air limbah dari kandungan minyak oleh alat *Oily Water Separator* (OWS) sehingga pada saat dibuang ke laut tidak menyebabkan polusi.

Kajian sebelumnya menunjukkan pemodelan efisiensi pemisahan minyak-air dalam pemisah tiga fase: Pengaruh reologi emulsi dan distribusi ukuran tetapan, menganalisis model yang dikombinasikan dengan model keseimbangan cairan tidak homogen yang diterapkan untuk memprediksi perilaku pemisahan gas, minyak, dan air. dan destabilisasi emulsi dalam separator melalui tekanan tinggi horizontal tiga fase [7]. Hasil pemisahan tekanan tinggi memberikan efek transisi viskositas antara jenis fluida yang berbeda.

Pengukuran eksperimental menggunakan metode CFD menunjukkan aliran separator pada kerapatan inlet dan outlet, dan kemungkinan kavitasi yang terjadi pada casing OWS [8]. Hal ini menunjukkan kinerja proses pemisahan pada sistem oily water separator bekerja dan dapat disimulasikan dalam teori termodinamika [9]. Sejalan dengan hal tersebut, kajian yang lain menunjukkan metode Desain baru separator air dengan minyak secara konvensional, ini memaparkan tentang Metode Desain Pemisah Minyak-Air Konvensional, kualitas limbah yang dihasilkan cukup untuk mengurangi emisi polusi pada pengolahan air, faktanya separator antara minyak konvensional dan air adalah fasilitas pengolahan. air limbah utama dalam moda transportasi laut di negara berkembang. Pendekatan desain yang inovatif dan pendekatan desain alternatif melalui pemodelan matematis menunjukkan desain pemisah air minyak sesuai dengan tingkat batas penggunaan [10]. Pemisah minyak-air konvensional dirancang dengan metode desain baru sesuai dengan kriteria desain, sehingga memvalidasi metode desain baru untuk desain pemisah minyak dan air konvensional [11]. Metode desain baru ini memiliki aplikasi global sehingga diharapkan dapat diterapkan pada setiap kapal [12]. Di sisi lain, jika melihat pergerakan kapal, berdampak pada kinerja oil water separator. Artikel yang lain menunjukkan pengaruh gerak kapal terhadap efisiensi pemisahan pada pemisah minyak mentah dengan alat OWS, menjelaskan bahwa gerak yang ditimbulkan adalah gerak sudut simultan dengan amplitudo 2° dan periode 8 detik yang menunjukkan kemurnian minyak 98% dan minyak pemulihan 99%, yang sebanding dengan pemisah terpisah. ditentukan oleh ketentuan MARPOL. Namun, gerakan tiga sudut 4° secara simultan memperburuk perolehan minyak hingga 92% dan kemurnian air hingga 75%. Karena kinerja pemisahan gerakan *pitching* mirip dengan gerakan tiga sudut simultan, kinerja pemisah tiga fase hanya dapat diuji dengan gerakan *pitching* [13, 14]. Berdasarkan rumusan tersebut maka *Commissioning Oily Water Separator System* pada kapal yang baru dibangun perlu dilakukan agar dapat memberikan performa mesin yang optimal dan ideal sesuai dengan penempatannya. Selain itu, proses pembangunan kapal baru perlu melihat dan mengkaji peran mesin ini sebagai persyaratan kriteria pembuatan kapal baru dan dengan standar internasional [11, 15].

Adapun perhitungan tetesan minyak dari performansi yang dihasilkan pada proses penyaringan [16].

$$V_t = \frac{g(\rho_w - \rho_o)d^2}{\mu_w} \quad (1)$$

dimana satuan V_t dalam m/s ; g menunjukkan gaya gravitasi; ρ_o adalah berat jenis minyak; ρ_w adalah berat jenis air ; dan μ_w adalah koefisien performa air pada mesin OWS. Sebuah pendekatan untuk menghitung pengiriman cairan berdasarkan fungsi waktu,

$$t = \frac{D}{V_t} \quad (2)$$

dimana t adalah waktu yang dibutuhkan D adalah debit sistem dan V_t adalah aliran droplet dari pemisah OWS. Sedangkan untuk mengukur volume kinerja dari OWS digunakan pendekatan,

$$V = Q_i^t \quad (3)$$

di mana V mewakili volume OWS, dan Q adalah aliran maksimum yang diharapkan dalam m³/menit. dan t adalah waktu yang dibutuhkan. Jadi dari sini kita bisa menentukan efisiensi kinerja OWS,

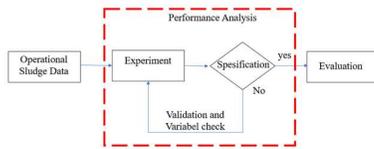
$$E = \frac{C_i Q_i - C_o Q_o}{C_i Q_i} \quad (4)$$

di mana E adalah efisiensi kinerja dan C adalah koefisien dan Q adalah aliran maksimum yang diharapkan, i adalah nilai akhir, dan o adalah nilai awal. Desain filter pada alat pemisah minyak memiliki peranan dalam memberikan sistem pemisahan dengan metode yang terbaik sesuai penempatannya, baik untuk bangunan lepas pantai atau pada kapal dengan jam operasional yang tinggi [17]. Dari segi tingkat ekonomis suatu transportasi laut sektor yang paling diamati adalah kecilnya tingkat resiko pencemaran lautan yang ditimbulkan [18]. Maka tidak jarang kajian dan penemuan saat ini banyak mendegradasikan dan mengelompokan tipe filter yang tepat untuk proses filtrasi sesuai dengan kemampuan operasional mesin *Oily Water Separator* [19, 20] .

Dengan asumsi pendekatan koreksi penilaian dari uji eksperimen tersebut maka tujuan dari artikel ini adalah untuk menganalisis unjuk kerja mesin *Oily Water Separator* tipe CYF-1.OY pada proyek pembangunan kapal 2000 GT, sehubungan dengan adanya permasalahan operasi dan dapat merumuskan penyebab utama jika terdapat kerusakan serta upaya perbaikan atau perawatannya. mengacu pada ketentuan MARPOL 73/78. Sehingga kedepan dapat dilakukan perbandingan jika tipe pembangunan kapal Perintis 200 GT ini menggunakan kebaruan sistem dan teknologi pemisahan limbah minyak yang lebih modern. Trend dalam penggunaan alat ini juga perlu dikaji dalam berbagai variabel, mulai dari posisi operasional, temperatur, viskositas fluida, dan masih banyak lagi lainnya.

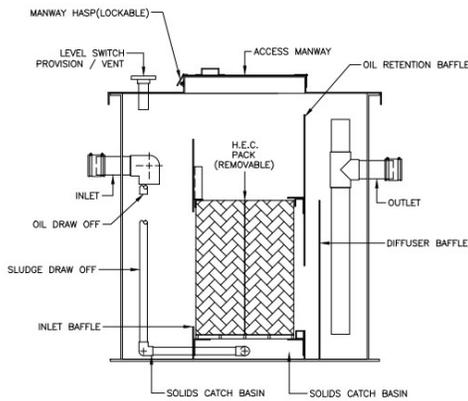
2. Metode

Kapal baru perlu dilakukan pengujian mesin bantu sebelum dipasang di kapal. Untuk mengetahui unjuk kerja mesin dalam pembangunan maka perlu dilakukan pengujian, aliran yang digunakan untuk merepresentasikan langkah kerja pada artikel ini seperti terlihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Metodologi kajian.

Perancangan sistem OWS (Oily Water Separator) yang digunakan adalah proyek pembangunan kapal 2000 GT di Galangan Kapal Semarang kota Indonesia, dengan tipe mesin CYF-1.OY. Secara garis besar skema pemisahan antara minyak dan air laut dapat diketahui dari konstruksi desain mesin *Oily Water Separator*, dapat lihat gambar 2.



Gambar 2. Skema gambar kerja OWS

Prinsip dasar dan cara kerja OWS adalah pemisahan berdasarkan berat jenis dari unsur-unsur yang terkandung dalam air limbah yang diproses. Dimana elemen dengan berat jenis tertinggi (lumpur) akan berada di bawah dan keluar melalui lumpur keluar, maka air yang lebih berat dari minyak dan lebih ringan dari lumpur akan berada di bawah minyak di ruang pemisah. Sehingga minyak yang ada dipermukaan akan dialirkan ke dalam *Waste Oil Tank* sedangkan air setelah melalui proses penyaringan kedua akan keluar dari OWS dengan kadar kandungan dibawah 15 ppm. Sistem OWS ini termasuk dalam sistem di kapal ruang mesin sehingga cukup banyak katup dan pipa yang digunakan dalam suatu instalasi. Pengecekan yang dilakukan sebelum dilakukan pengujian adalah pada bagian (1) kran uji (*test cook*) Terdapat dua kran uji pada masing-masing tabung pemisah yang satu terletak di bagian atas (ruang pengumpul minyak) dan satu di bagian bawah ruang pengumpul (di penutup depan tabung). *Faucet* ini berfungsi untuk memeriksa air limbah yang diproses di dalam tabung sekaligus untuk mengeluarkan udara saat OWS dijalankan pertama kali. (2) Pipa keluar oli

(Oil outlet) Pipa ini berfungsi sebagai saluran untuk mengeluarkan oli dari ruang penampung oli ke tangki limbah oli. (3) Sensor level oli (*Oil Level Sensor*) Detektor ini berfungsi untuk mendeteksi level oli di ruang pengumpul oli kemudian mengirimkan sinyal ke pengontrol otomatis yang akan mengaktifkan *Solenoid valve* untuk membuka atau menutup saluran pembuangan oli ke Limbah Tangki minyak. (4) Kontrol Otomatis Kontroler ini memiliki dua lampu indikator merah dan hijau. Jika lampu merah menyala, menandakan oli pada *collection chamber* tinggi sehingga mengaktifkan *solenoid valve* untuk membuka saluran pembuangan oli menuju *Waste Oil Tank*. Dan saat lampu hijau menyala maka itu menandakan level oli rendah sehingga akan menutup kembali. (5) *Solenoid valve* (katup solenoid) terletak pada pipa pembuangan oli yang berfungsi untuk membuka dan menutup outlet oli secara otomatis saat menerima sinyal dari pengontrol otomatis. Pengujian dilakukan untuk mengetahui kinerja Sistem OWS (*Oily Water Separator*) dengan memperlakukan waktu kinerja mesin dengan asumsi kapal dalam kondisi operasi. Minyak/limbah oli yang dapat dipisahkan berdasarkan variasi volume limbah oli yang dihasilkan dari kapal.

3. Hasil dan Pembahasan

Pengoperasian dan perawatan *Oily Water Separator* perlu memahami pentingnya perawatan berdasarkan buku panduan / manual dari pabrik pembuat mesin *Oily Water Separator*. Limbah oli bercampur air dari tangki air sewer (*bilge tank*) dipompa dengan pompa sewer/bilge terlebih dahulu melalui *suction filter* sebelum pompa dan *press filter* setelah pompa mengalir melalui pipa *oil water inlet* ke kolom pemisah pertama (Kolom pemisah pertama) kemudian mengalir ke ruang pemisah kedua (*Emulsion breaker*) kemudian di sini limbah minyak dan kotoran air telah disaring. Dalam proses ini minyak akan mengapung di dinding atas kolom Pertama, minyak dan air telah dipisahkan. Menggunakan sistem perbedaan berat jenis minyak dan air, dimana berat jenis air : 1 dan berat jenis minyak : 0.8. Setelah pemisahan ini, air melewati lubang kecil pada pelat pendukung dan mengalir ke kolom pemisah kedua (kolom pemisah sekunder). Pada bagian ini oli yang masih lolos melewati *Emulsion breaker filter*. Dari hasil penyaringan kotoran pada ruang separator pertama dimana pada kolom kedua dilanjutkan dengan penyaringan air selokan yang masih kotor. Selanjutnya kolom kedua disaring menggunakan *emulsion breaker*. Dan hasil penyaringan di kolom kedua kemudian dilanjutkan ke filter berikutnya dimana air dari hasil penyaringan di kolom kedua masuk ke Kolom Ketiga (*Coalesced*). Hasil penyaringan dari kolom ketiga akan dilanjutkan ke kolom keempat dimana filter pada kolom tersebut menggunakan *Fine coalesce*. Selanjutnya, air yang disaring di kolom keempat langsung ke laut. Dari hasil penyaringan di atas, air yang terbuang ke laut

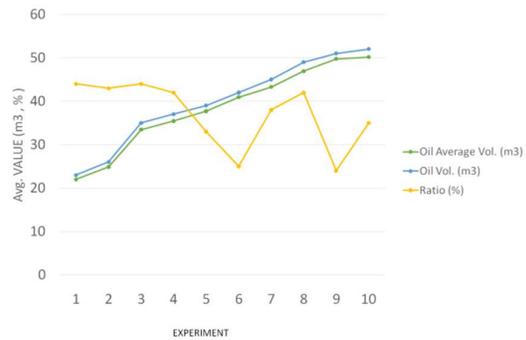
telah melalui monitor yang mendeteksi dan menunjukkan dimana air selokan yang telah diolah di kolom pemisah layak untuk dibuang ke laut, yaitu kurang dari 15ppm. Hasil dari percobaan mesin ini ada beberapa tahapan, sebanyak 10 kali percobaan. Pengujian dengan variabel volume limbah minyak yang dihasilkan kapal sebelum dibuang ke laut dapat dilihat lebih jelas pada Tabel 1.

Table 1. OWS performance experimental data

Experiment	Waste volume (m ³)	Average vol. oil (m ³)	Time (minute)	Ratio	Efficiency (%)
1	84	23	12	0.44	95.6
2	98	26	14	0.43	95.7
3	102	35	16	0.44	95.6
4	128	37	18	0.42	95.8
5	157	39	23	0.33	96.7
6	232	42	25	0.25	97.5
7	256	45	32	0.38	96.2
8	278	49	38	0.42	95.8
9	289	51	38	0.24	97.6
10	305	52	38	0.35	96.5

Berdasarkan data tersebut diketahui bahwa karakteristik performa mesin mengalami perubahan rasio berdasarkan data spesifik mesin, karena adanya pengaruh gerak fluida dari limbah di ujung pipa hisap ke OWS yang terkadang optimal dan terkadang tidak bisa masuk. Waktu kerja mesin berbanding lurus dengan volume kapasitas limbah sehingga semakin banyak volume maka semakin lama waktu yang dibutuhkan hal tersebut sesuai dengan kapasitas performa dari tiap-tiap spesifikasi mesin *oil water separator*. Sedangkan jika dibandingkan dengan grafik performa mesin, efisiensinya cukup mirip, artinya hasilnya di bawah 5% dan masih relevan, lihat Gambar 3. Dari data tabel 1 dapat diketahui, jika semakin sering eksperimen dilakukan pada eksperimen 10 maka hasil limbah yang dihasilkan juga semakin banyak terlihat dari kuantitas volume yang terbentuk yaitu sebesar 305 m³. Hal itu

merupakan yang paling besar dari beberapa eksperimen yang telah dilakukan pada kajian ini. Namun demikian data tersebut tidak sebanding dengan efisiensi yang dihasilkan, karena setiap proses pengeoperasian didapatkan hasil pengujian yang berbeda-beda sesuai dengan kualitas tekanan pompa OWS yang disettingkan pada alat.



Gambar 3. Perbandingan eksperimen dengan berbagai periode

Dari hasil grafik, pada gambar 3 tersebut dapat diketahui nilai ratio mengalami fluktuasi kenaikan dan penurunan pada percobaan ke 5 sampai dengan akhir. Dengan nilai terendah adalah pada percobaan ke 9 sebesar 0.24, hal ini menunjukkan tingkat kemampuan pengolahan limbah oli dengan teknik pemisahan air cukup ideal untuk menunjang rata-rata volume sebesar 51 m³ dengan waktu 38 menit. Faktor seperti kualitas campuran limbah serta kerapatan filter dan waktu operasional dapat menunjukkan tingkat kemampuan dari alat *oil water separator*.

4. Kesimpulan

Kendala yang sering terjadi pada saat pengoperasian *Oil Water Separator* adalah tidak membilas *Oil Discharge Monitor* yang didalamnya terdapat sensor sehingga banyak minyak yang lengket pada sensor. Hal ini menyebabkan kerja *Oil Water Separator* terganggu karena panel tampilan *Oil Discharge Monitor* akan terus menunjukkan level oli yang tinggi sehingga unit pengontrol *Oil Discharge Monitor* akan terus menerus memberikan input data yang salah sehingga *outlet tree way cock valve* yang menuju ke laut menjadi tertutup. dan sebaliknya bagian outlet yang lain akan terbuka sehingga air terbuang kembali ke saluran pembuangan mesin. Jika hal ini terjadi, maka hanya akan terjadi sirkulasi air limbah ruang mesin dari saluran pembuangan ruang mesin, Pemisah Air Berminyak dan kembali lagi ke saluran pembuangan ruang mesin. Masalah lain yang juga terjadi adalah ketidaktahuan operator dalam mengoperasikan *Oil Water Separator* dan pengaturan opsi menu pada tampilan *Oil Discharge* sehingga membuat performa dari aliran kerja cukup baik.

Analisis uji eksperimen dari mesin *Oil Water Separator* tipe CYF-1.OY pada proyek pembangunan kapal 2000 GT, menunjukkan performa

mesin yang baik ratio sebesar 0.24 , menunjukkan tingkat kemampuan pengolahan limbah oli dengan teknik pemisahan air cukup ideal untuk menunjang rata-rata volume sebesar 51 m³ dengan waktu 38 menit. Teknik pengoperasian sesuai dengan standart dan memperhatikan prosedur sesuai kegunaan valve yang ada menjadi upaya dalam pemeliharaan dan perawatan mesin *Oily Water Separator* tipe CYF-1.OY untuk kedepannya menjadi lebih awet lagi.

Ucapan Terima Kasih

Terima kasih kepada Departemen Teknologi Industri Sekolah Vokasi Undip dan PT. Janata Marina Indah Semarang yang telah mendukung kajian ini.

Daftar Pustaka

- [1] A. Carpenter, "Oil pollution in the North Sea: the impact of governance measures on oil pollution over several decades," *Hydrobiologia*, vol. 845, no. 1, pp. 109–127, 2019, doi: 10.1007/s10750-018-3559-2.
- [2] N. Ma, B. J. McDowell, J. B. Houser, M. W. Andrade, and D. E. Heinz, "Separation of Mill Scale from Flume Wastewater Using a Dynamic Separator Toward Zero Wastes in the Steel Hot-Rolling Process," *Journal of Sustainable Metallurgy*, vol. 5, no. 1, pp. 97–106, 2019, doi: 10.1007/s40831-018-0203-3.
- [3] Y. Yau, V. Rudolph, K. Ho, C. C. Lo, and K. Wu, "Evaluation of different demulsifiers for Marpol oil waste recovery," *Journal of Water Process Engineering*, vol. 17, pp. 40–49, 2017, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2017.02.013>.
- [4] C. Vaneekhaute and A. Fazli, "Management of ship-generated food waste and sewage on the Baltic Sea: A review," *Waste Management*, vol. 102, pp. 12–20, 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.10.030>
- [5] G. A. Moncayo, "Testing the boundaries between the Basel and MARPOL regimes: are they complementary or mutually exclusive?," *Transportation Research Procedia*, vol. 25, pp. 233–250, 2017, doi: <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2017.05.391>.
- [6] M. Wilewska-Bien and S. Anderberg, "Reception of sewage in the Baltic Sea – The port's role in the sustainable management of ship wastes," *Marine Policy*, vol. 93, pp. 207–213, 2018, doi: <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2018.04.012>
- [7] L. M. Oshinowo and R. D. Vilagines, "Modeling of oil–water separation efficiency in three-phase separators: Effect of emulsion rheology and droplet size distribution," *Chemical Engineering Research and Design*, vol. 159, pp. 278–290, 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.cherd.2020.02.022>.
- [8] T. T. Le, Y.-I. Lim, C.-K. Park, B.-D. Lee, B.-G. Kim, and D.-H. Lim, "Effect of ship motion on separation efficiency in crude oil separator with coalescer," in *13 International Symposium on Process Systems Engineering (PSE 2018)*, vol. 44, M. R. Eden, M. G. Ierapetritou, and G. P. B. T.-C. A. C. E. Towler, Eds. Elsevier, 2018, pp. 319–324.
- [9] B. Doshi, M. Sillanpää, and S. Kalliola, "A review of bio-based materials for oil spill treatment," *Water Research*, vol. 135, pp. 262–277, 2018, doi: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2018.02.034>.
- [10] T. T. Le *et al.*, "Effect of simultaneous three-angular motion on the performance of an air–water–oil separator under offshore operation," *Ocean Engineering*, vol. 171, pp. 469–484, 2019, doi: <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2018.11.012>.
- [11] S. Zhu, K. Zhang, and K. Deng, "A review of waste heat recovery from the marine engine with highly efficient bottoming power cycles," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 120, p. 109611, 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.109611>.
- [12] T. T. Le *et al.*, "Three-phase Eulerian computational fluid dynamics of air–water–oil separator under off-shore operation," *Journal of Petroleum Science and Engineering*, vol. 171, pp. 731–747, 2018, doi: <https://doi.org/10.1016/j.petrol.2018.08.001>.
- [13] W. E. Odiete and J. C. Agunwamba, "Novel design methods for conventional oil-water separators," *Heliyon*, vol. 5, no. 5, p. e01620, 2019, doi: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e01620>
- [14] Q. Song, H. Wang, S. Han, J. Wang, B. Zhang, and Y. Zhang, "Halloysite nanotubes functionalized cotton fabric for oil/water separation," *Progress in Organic Coatings*, vol. 148, p. 105839, 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.porgcoat.2020.105839>.
- [15] A. G. Mohammed, M. Mosleh, W. M. El-Maghlany, and N. R. Ammar, "Performance analysis of supercritical ORC utilizing marine diesel engine waste heat recovery," *Alexandria Engineering Journal*, vol. 59, no. 2, pp. 893–904, 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.aej.2020.03.021>.
- [16] H. S. Skjefstad, M. Dudek, G. Øye, and M. Stanko, "The effect of upstream inlet choking and surfactant addition on the performance of a novel parallel pipe oil–water separator," *Journal of Petroleum Science and Engineering*, vol. 189, p. 106971, 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.petrol.2020.106971>.
- [17] Y. Liu, H. Lu, Y. Li, H. Xu, Z. Pang, P. Dai, H. Wang, Q. Yang, "A review of treatment technologies for produced water in offshore oil and gas fields," *Science of the Total*

- Environment*, vol. 775, p. 145485, 2021, doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.145485>.
- [18] A. Deja, R. Ulewicz, Y. Kyrychenko , “Analysis and assessment of environmental threats in maritime transport,” *Transportation Research Procedia*, vol. 55, p. 1073–1080, 2021, doi: 10.1016/j.trpro.2021.07.078.
- [19] Y. Zhang, H. Jiang, N. Qin ,D. An, P. Xiao, H. Wang, Y. Xiao, R. Zhai “Cooperative construction of oil/water separator using renewable lignin and PDMS,” *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, vol. 643, p. 128790, 2022, doi: <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2022.128790>
- [20] C. Guan, F. Xu, Y. Li, L.Zu, D. Xia , “Construction of dual-functional membrane with novel structured β -cyclodextrin hybridization for simultaneous oily wastewater separation and hazardous aromatics removal,” *Journal of Water Process Engineering*, vol. 47, p. 102756, 2022, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2022.102756>