

# Optimasi Formula Blending Produk *Marine Fuel Oil Low Sulfur (MFO-LS)* untuk Pemenuhan Bahan Bakar Kapal *Berstandar International Maritime Organization (IMO) 2020*

Fitra Dhuha\*, Reza Fauzan, Teuku Rihayat

Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Lhokseumawe, Jl. Banda Aceh-Medan Km. 280.3, Buketrata, Punteut, Blang Mangat, Kota Lhokseumawe, Aceh 24301, Indonesia

\*E-mail: fitrad25@gmail.com

## Abstract

### Article history:

Received: 31-03-2026

Accepted: 22-04-2026

Published: 30-04-2026

### Keywords:

blending optimization;  
IMO 2020 compliance;  
marine fuel oil low sulfur  
(MFO-LS);  
refinery optimization;  
sulfur reduction.

This study aims to optimize the blending formulation of Marine Fuel Oil Low Sulfur (MFO-LS) to comply with the International Maritime Organization (IMO) 2020 regulation, which limits sulfur content to a maximum of 0.50% m/m. The methodology involves optimization using the Generalized Refining Transportation Marketing Planning System (GRTMPS) software, followed by laboratory validation of four blending formulations. The evaluated parameters include kinematic viscosity, pour point, flash point, density, sulfur content, and other impurities based on ASTM and ISO 8217 standards. The results indicate that not all formulations met the required specifications. Blending 1 exhibited a high pour point issue, while Blending 2 failed to meet the minimum viscosity requirement. The optimal formulation was achieved in Blending 3, which utilized 40% short residue combined with distillate components such as kerosene, LVGO, and HVGO. This formulation successfully met all critical parameters, with a viscosity of 87 mm<sup>2</sup>/s, pour point of 24°C, flash point of 66°C, and sulfur content of 0.2% m/m. The findings also demonstrate that HVGO can be effectively utilized as a blending component within a 5–10% volume range without compromising product quality. Furthermore, the reformulation improves operational efficiency and economic value by maximizing the utilization of low-value residue streams. Therefore, the proposed blending strategy provides a practical and effective solution to meet global environmental regulations while enhancing the competitiveness of marine fuel products.

## 1. Pendahuluan

Indonesia sebagai negara kepulauan memiliki peran strategis dalam perdagangan global yang sangat bergantung pada transportasi laut. Sektor maritim menjadi tulang punggung distribusi energi dan logistik nasional, sehingga kebutuhan akan bahan bakar kapal yang efisien dan ramah lingkungan semakin meningkat[1, 2]. Dalam konteks ini, industri pengolahan minyak dan gas, memegang peranan penting dalam memastikan ketersediaan bahan bakar yang memenuhi standar internasional.

Sejak diberlakukannya regulasi *International Maritime Organization (IMO) 2020*, batas kandungan sulfur dalam bahan bakar kapal diturunkan secara signifikan dari 3,50% m/m menjadi maksimal 0,50% m/m[3]. Kebijakan ini bertujuan untuk mengurangi emisi sulfur oksida (SO<sub>x</sub>) yang berkontribusi terhadap pencemaran udara dan dampak kesehatan global[4]. Implementasi regulasi ini mendorong kilang minyak di seluruh dunia untuk melakukan penyesuaian proses produksi, termasuk optimalisasi *blending* bahan bakar rendah sulfur (*low sulfur fuel oil/LSFO*).

Berbagai penelitian menunjukkan bahwa proses *blending* merupakan pendekatan yang fleksibel dan ekonomis dalam menghasilkan bahan bakar dengan spesifikasi tertentu tanpa investasi besar pada unit desulfurisasi baru [2]. Studi menunjukkan bahwa *blending* residu dan distilat dengan proporsi yang tepat dapat mengontrol parameter penting seperti viskositas, densitas, dan kandungan sulfur[5, 6]. Selain itu, penelitian menunjukkan bahwa optimasi *blending* berbasis pendekatan matematis dan simulasi dapat meningkatkan efisiensi produksi sekaligus menjaga stabilitas produk[7].

Di sisi lain, tantangan utama dalam *blending* bahan bakar adalah kompatibilitas antar komponen, stabilitas campuran, serta pengendalian sifat fisikokimia seperti viskositas dan *pour point*[8, 9]. Penelitian oleh Wang et al. menegaskan bahwa ketidakcocokan komponen dapat menyebabkan terjadinya sedimentasi dan *asphaltene precipitation* yang berdampak pada kualitas bahan bakar[10]. Oleh karena itu, pemilihan komponen *blending* harus

mempertimbangkan interaksi kimia dan sifat termodinamika masing-masing fraksi.

Kilang pengolahan minyak memiliki konfigurasi unit yang memungkinkan produksi *Marine Fuel Oil Low Sulfur (MFO-LS)* melalui proses *blending* berbagai komponen seperti *residue*, *distillate*, dan *intermediate product*. Namun, adanya tambahan bahan baku baru berupa *Heavy Vacuum Gas Oil (HVGO)* dari RU V Balikpapan menimbulkan tantangan operasional baru, terutama terkait keterbatasan pengolahan di unit *Hydrocracking* dan potensi gangguan operasional seperti *fouling* dan peningkatan tekanan operasi.

Beberapa penelitian terbaru juga menunjukkan bahwa pemanfaatan *intermediate stream* seperti HVGO dalam *blending* dapat menjadi alternatif strategis untuk meningkatkan nilai ekonomi produk, selama dilakukan optimasi komposisi yang tepat [11, 12]. Namun demikian, studi spesifik terkait pemanfaatan HVGO dalam formulasi MFO-LS di kilang domestik Indonesia masih sangat terbatas.

Berdasarkan kajian literatur yang ada, dapat diidentifikasi beberapa kesenjangan penelitian (*research gap*), yaitu sebagian besar penelitian sebelumnya berfokus pada optimasi *blending* secara umum, namun belum banyak yang mengkaji secara spesifik integrasi *intermediate stream* seperti HVGO dalam formulasi MFO-LS, studi terkait implementasi regulasi IMO 2020 lebih banyak dilakukan pada konteks global, sehingga masih terbatas kajian berbasis studi kasus kilang di Indonesia, belum terdapat penelitian yang secara komprehensif mengaitkan aspek teknis *blending* (stabilitas, kompatibilitas, viskositas) dengan aspek operasional dan ekonomis dalam satu kerangka analisis terpadu dan minimnya pendekatan berbasis kondisi aktual kilang (*real plant condition*) dalam merancang formulasi *blending* yang optimal.

Penelitian ini memiliki beberapa unsur kebaruan (*novelty*), yaitu mengintegrasikan pemanfaatan *heavy vacuum gas oil (HVGO)* sebagai komponen *blending* dalam formulasi *marine fuel oil low sulfur (MFO-LS)* menggunakan pendekatan berbasis kondisi aktual operasional kilang Pengolahan minyak bumi (*real industrial case study*), mengkaji secara simultan aspek teknis (kualitas produk), operasional (kinerja unit), dan ekonomis (efisiensi biaya produksi). menghasilkan model formulasi *blending* yang aplikatif dan dapat

direplikasi pada kilang dengan konfigurasi serupa.

Penelitian ini bertujuan untuk merancang formulasi *blending* MFO-LS yang memenuhi spesifikasi IMO 2020, mengidentifikasi dan mengatasi kendala teknis dalam proses *blending* bahan bakar, mengevaluasi dampak reformulasi terhadap efisiensi operasional dan biaya produksi, mengoptimalkan pemanfaatan bahan baku *intermediate* seperti HVGO dalam produksi bahan bakar kapal.

## 2. Metode

Penelitian ini dilaksanakan di unit pengolahan yang mendukung produksi bahan bakar *marine*. Kegiatan eksperimen dan pengujian dilakukan di fasilitas laboratorium kilang untuk memastikan kesesuaian metode dengan standar industri migas.

### 2.1 Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini terdiri atas berbagai komponen *blending* yang tersedia di lingkungan kilang, meliputi *duri crude oil (DCO)*, *short residue* (residu dari unit HVU), *light gas oil (LGO)*, *unconverted oil (UCO)*, *kerosene (kero)*, *light vacuum gas oil (LVGO)*, serta *heavy vacuum gas oil (HVGO)*. Selain itu, digunakan pula komponen tambahan seperti PTCF. Pemilihan bahan didasarkan pada ketersediaan aktual di kilang serta potensi kontribusinya terhadap sifat fisikokimia produk akhir *marine fuel oil low sulfur (MFO-LS)*.

Peralatan yang digunakan meliputi perangkat lunak optimasi *generalized refining transportation marketing planning system (GRTMPS)* untuk menentukan komposisi *blending* secara matematis berbasis linear programming, serta peralatan laboratorium standar untuk pengujian kualitas bahan bakar. Parameter yang diuji mencakup densitas, viskositas kinematik, kandungan sulfur, *pour point*, *flash point*, *total acid number (TAN)*, *carbon residue*, *ash content*, *sediment content*, serta kandungan logam seperti vanadium dan aluminium-silikon. Pengujian dilakukan menggunakan metode standar internasional ASTM, seperti ASTM D1298 untuk densitas, ASTM D445 untuk viskositas, ASTM D4294 untuk sulfur, serta ASTM D93 untuk *flash point*, guna menjamin validitas dan reproduktibilitas data.

### 2.3 Rancangan Penelitian

Rancangan percobaan dalam penelitian ini menggunakan pendekatan eksperimental dengan variasi komposisi *blending* sebagai variabel bebas, sedangkan variabel terikat berupa spesifikasi kualitas produk MFO-LS yang dihasilkan. Variasi komposisi disusun berdasarkan hasil optimasi menggunakan GRTMPS dan dikembangkan dalam beberapa skenario *blending* dengan proporsi berbeda untuk setiap komponen. Sementara itu, variabel kontrol dijaga konstan untuk meminimalkan bias, meliputi suhu pencampuran sebesar  $\pm 60^{\circ}\text{C}$ , waktu pengadukan selama 30 menit, dan kecepatan pengadukan sekitar 300 rpm.

### 2.4 Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian diawali dengan karakterisasi bahan baku (*base component characterization*), yaitu pengujian sifat fisikokimia masing-masing komponen secara individual sebagai data input dalam proses optimasi. Selanjutnya, dilakukan simulasi optimasi menggunakan perangkat lunak GRTMPS untuk memperoleh komposisi *blending* yang memenuhi batasan spesifikasi IMO 2020, khususnya kadar sulfur maksimum 0,50% m/m serta parameter kualitas lainnya. Hasil optimasi kemudian diuji melalui proses *blending* skala laboratorium dengan metode pencampuran termal menggunakan *hot plate* dan *magnetic stirrer* hingga diperoleh campuran homogen.

Tahap *blending* laboratorium dilakukan melalui penimbangan komponen sesuai rasio hasil optimasi, diikuti dengan pemanasan hingga suhu operasi untuk menurunkan viskositas, kemudian dilakukan pengadukan hingga tercapai homogenitas campuran. Sampel hasil *blending* selanjutnya didinginkan pada suhu ruang dan disimpan dalam wadah tertutup untuk dilakukan pengujian kualitas.

Pengujian kualitas produk dilakukan secara komprehensif sesuai standar ASTM untuk memastikan kesesuaian dengan spesifikasi *marine fuel oil low sulfur* (MFO-LS). Selain itu, prosedur sampling dilakukan berdasarkan standar operasional pengambilan sampel minyak dalam tangki, dengan mempertimbangkan level cairan (*upper, middle, lower sampling*) guna memperoleh sampel representatif. Analisis data dilakukan dengan membandingkan hasil uji setiap variasi *blending* terhadap batas spesifikasi yang ditetapkan oleh IMO 2020, serta mengevaluasi performa masing-

masing formulasi dari aspek teknis dan potensi implementasi operasional di kilang.

## 3. Hasil dan Pembahasan

### 3.1 Hasil Analisa dan Optimasi Formulasi Blending

Hasil penelitian menunjukkan bahwa optimasi formulasi *blending marine fuel oil low sulfur* (MFO-LS) dilakukan melalui empat variasi komposisi yang diuji menggunakan kombinasi simulasi perangkat lunak GRTMPS dan verifikasi uji laboratorium. Evaluasi difokuskan pada parameter kritis seperti viskositas kinematik, *pour point*, *flash point*, dan kandungan sulfur sesuai standar *International Maritime Organization (IMO) 2020* dan spesifikasi ISO 8217. Berdasarkan hasil pengujian, diperoleh bahwa tidak seluruh formulasi memenuhi spesifikasi yang ditetapkan, sehingga diperlukan analisis bertahap untuk menentukan formula optimum. Hasil analisa ditunjukkan dalam Tabel 1.

Pada tahap awal, formulasi *blending 1* menunjukkan bahwa viskositas kinematik sebesar  $61,121 \text{ mm}^2/\text{s}$  masih berada dalam rentang spesifikasi, namun nilai *pour point* mencapai  $30^{\circ}\text{C}$  yang berada tepat pada batas maksimum. Kondisi ini mengindikasikan potensi risiko operasional, terutama terkait kemampuan alir bahan bakar pada suhu rendah. Tingginya *pour point* dipengaruhi oleh dominasi komponen waxy seperti *Duri Crude Oil* dan *unconverted oil (UCO)*, yang diketahui memiliki kandungan parafin tinggi sehingga meningkatkan kecenderungan pembekuan. Dengan mempertimbangkan risiko tersebut, formulasi ini dinilai kurang stabil untuk aplikasi operasional meskipun secara spesifikasi masih memenuhi batas minimum.

Selanjutnya, *blending 2* menunjukkan kegagalan signifikan pada parameter viskositas, yaitu hanya sebesar  $19,05 \text{ mm}^2/\text{s}$ , jauh di bawah batas minimum standar ( $30 \text{ mm}^2/\text{s}$ ). Hal ini disebabkan oleh dominasi komponen ringan seperti PTCF dan LGO yang menurunkan kekentalan campuran secara drastis. Meskipun *pour point* dan *flash point* berada dalam kondisi aman, ketidaksesuaian viskositas menjadikan formulasi ini tidak layak untuk digunakan sebagai bahan bakar *marine* karena tidak memenuhi karakteristik pembakaran yang dibutuhkan[13].

Tabel 1. Hasil analisa uji laboratorium

Properties	Unit	Spec	Blending 1	Blending 2	Blending 3	Blending 4
Kin. Visco at 50°C*	mm <sup>2</sup> /s	30 - 180	61.121	19.05	87	62
Pour Point*	°C	Max. 30	30	9	24	24
Flash Point PMCC*	°C	Min. 60	98	88	66	73
Density at 15°C	kg/m <sup>3</sup>	Max. 991	**	905.4	910	906
CCR	%wt	Max. 18	**	**	7.13	6.55
Ash Content	%wt	Max. 0.1	**	**	0.01	0.01
Sulfur Content*	%wt	Max. 0.5	**	0.22	0.2	0.2
Sediment Total	%wt	Max. 0.1	**	**	0.07	0.03
Total Acid Number	mg KOH/g	Max. 2.5	**	**	1.08	1.00
Water Content	%vol	Max. 0.5	**	**	0.40	0.30
Al + Si Content	mg/kg	Max. 60	**	**	22.12	31.42
Vanadium	mg/kg	Max. 350	**	**	0.70	0.91
Calsium	mg/kg	Max. 30	**	**	0.17	0.29
Zinc	mg/kg	Max. 15	**	**	0.25	0.37

Note:

\*Critical parameter

\*\* Tidak dilakukan analisa Menyeluruh

Perbaikan signifikan diperoleh pada formulasi *blending* 3, yang menunjukkan performa terbaik di antara seluruh variasi. Komposisi yang memanfaatkan *short residue* hingga 40% serta penambahan komponen distilat seperti *kerosene*, LVGO, dan HVGO menghasilkan viskositas sebesar 87 mm<sup>2</sup>/s yang berada pada rentang ideal. Selain itu, nilai *pour point* berhasil diturunkan menjadi 24°C, menunjukkan peningkatan sifat alir bahan bakar akibat efek pencampuran komponen yang lebih ringan[14]. Kandungan sulfur sebesar 0,2% m/m menunjukkan keberhasilan dalam memenuhi regulasi IMO 2020, sementara parameter lain seperti sediment, logam (Al+Si), dan *carbon residue* juga berada dalam batas aman. Meskipun terjadi penurunan *flash point* akibat penambahan *kerosene*, nilainya tetap berada di atas batas minimum 60°C sehingga masih aman untuk aplikasi operasional[15]. Dengan demikian, formulasi ini tidak hanya memenuhi seluruh spesifikasi teknis, tetapi juga memberikan keuntungan ekonomis melalui pemanfaatan residu dalam jumlah besar.

Formulasi alternatif ditunjukkan oleh *blending* 4, yang memiliki karakteristik serupa dengan *blending* 3 namun dengan proporsi HVGO yang lebih tinggi dan *short residue* yang lebih rendah. Hasil pengujian menunjukkan bahwa viskositas sebesar 62 mm<sup>2</sup>/s masih

memenuhi spesifikasi, sementara nilai sedimen lebih rendah dibandingkan *blending* 3, yang mengindikasikan kualitas kebersihan bahan bakar yang lebih baik. Namun demikian, dari perspektif ekonomi, peningkatan penggunaan HVGO yang bernilai lebih tinggi dapat menurunkan margin keuntungan, sehingga formulasi ini lebih sesuai sebagai alternatif ketika ketersediaan *short residue* terbatas.

Secara keseluruhan, hasil optimasi menunjukkan bahwa *blending* 3 merupakan formulasi optimum karena mampu menyeimbangkan parameter teknis dan aspek ekonomis secara simultan. Selain itu, hasil penelitian juga mengindikasikan bahwa *heavy vacuum gas oil* (HVGO) dapat digunakan sebagai komponen *blending* dalam kisaran 5–10% volume tanpa mengganggu kualitas produk akhir.

### 3.2 Pembahasan

#### 3.2.1 Strategi Reformulasi Blending MFO-LS Berbasis IMO 2020

Strategi utama dalam reformulasi *blending* MFO-LS berfokus pada pemenuhan batas maksimum kandungan sulfur sebesar 0,50% m/m sebagaimana ditetapkan oleh IMO 2020. Pendekatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah kombinasi antara pemilihan bahan baku rendah sulfur dan metode *blending* berbasis

neraca massa serta pendekatan *linear programming*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pencampuran komponen residu dengan distilat ringan seperti *kerosene* dan *gas oil* efektif dalam menurunkan kadar sulfur sekaligus mengontrol viskositas dan sifat alir bahan bakar. Selain itu, penggunaan HVGO sebagai komponen tambahan terbukti dapat meningkatkan fleksibilitas formulasi tanpa mengorbankan spesifikasi produk.

Namun demikian, pengendalian parameter lain seperti viskositas, *pour point*, dan *flash point* tetap menjadi perhatian utama. Hal ini menunjukkan bahwa optimasi *blending* tidak hanya berfokus pada satu parameter, tetapi harus mempertimbangkan interaksi kompleks antar sifat fisikokimia bahan bakar.

### 3.2.2 Tantangan Teknis dalam Proses Blending

Salah satu tantangan utama dalam proses *blending* adalah masalah kompatibilitas antar komponen. Ketidaksiharian sifat kimia dapat menyebabkan terjadinya pengendapan *asphaltene* yang berpotensi membentuk *sludge*, sehingga dapat mengganggu sistem bahan bakar. Selain itu, stabilitas bahan bakar selama penyimpanan juga menjadi isu penting, terutama untuk memastikan bahwa campuran tetap homogen dalam jangka waktu tertentu.

Keterbatasan infrastruktur juga menjadi faktor yang mempengaruhi keberhasilan *blending*, seperti akurasi alat ukur dan sistem pencampuran di kilang. Oleh karena itu, diperlukan kontrol proses yang ketat serta validasi laboratorium untuk memastikan konsistensi kualitas produk.

### 3.2.3 Dampak Reformulasi terhadap Efisiensi Operasional

Reformulasi MFO-LS memberikan dampak signifikan terhadap efisiensi operasional, baik dari sisi pembakaran, sistem pelumasan, maupun konsumsi energi. Dari aspek pembakaran, viskositas yang lebih rendah meningkatkan kualitas atomisasi bahan bakar sehingga menghasilkan pembakaran yang lebih sempurna dan mengurangi pembentukan deposit karbon. Hal ini berdampak pada peningkatan efisiensi termal mesin serta penurunan biaya perawatan.

Dari sisi pelumasan, rendahnya kandungan sulfur mengurangi pembentukan asam sulfat, sehingga kebutuhan penggunaan

pelumas dengan nilai alkalinitas tinggi menjadi lebih rendah. Hal ini dapat meningkatkan efisiensi biaya operasional sekaligus memperpanjang umur komponen mesin.

Selain itu, viskositas yang lebih rendah juga berdampak pada penurunan kebutuhan energi untuk pemanasan bahan bakar sebelum injeksi, sehingga memberikan penghematan energi yang signifikan. Namun demikian, terdapat risiko operasional seperti potensi kebocoran pada sistem bahan bakar akibat sifat fluida yang lebih ringan serta peningkatan beban pada sistem pemurnian (*purifier*) jika terjadi ketidakstabilan campuran.

### 3.3 Sintesis Hasil

Secara keseluruhan, hasil penelitian ini menunjukkan bahwa optimasi *blending* MFO-LS tidak hanya bergantung pada pemenuhan spesifikasi teknis, tetapi juga pada keseimbangan antara aspek kualitas, stabilitas, dan ekonomi. Formulasi *blending* 3 terbukti sebagai solusi optimal yang mampu memenuhi seluruh parameter IMO 2020 sekaligus meningkatkan efisiensi pemanfaatan residu di kilang. Temuan ini memberikan kontribusi praktis bagi industri pengolahan migas dalam menghadapi tantangan regulasi global dan meningkatkan daya saing produk bahan bakar marine.

### 4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian optimasi formulasi *blending Marine Fuel Oil Low Sulfur (MFO-LS)* dapat disimpulkan bahwa komposisi *blending* sangat berpengaruh terhadap pemenuhan spesifikasi bahan bakar sesuai standar *International Maritime Organization (IMO)* 2020. Dari empat variasi formulasi yang diuji, *blending* 3 merupakan formula optimum yang mampu memenuhi seluruh parameter kritis, meliputi viskositas kinematik sebesar 87 mm<sup>2</sup>/s, *pour point* 24°C, *flash point* 66°C, serta kandungan sulfur sebesar 0,2% m/m yang berada di bawah batas maksimum 0,50% m/m.

Permasalahan pada formulasi awal, yaitu tingginya *pour point* pada *blending* 1 dan rendahnya viskositas pada *blending* 2, menunjukkan pentingnya keseimbangan antara komponen residu dan distilat dalam proses *blending*. Penambahan komponen seperti kerosene, LVGO, dan HVGO terbukti efektif dalam memperbaiki sifat alir dan kestabilan bahan bakar. Selain itu, pemanfaatan HVGO

dalam kisaran 5–10% volume dapat digunakan sebagai alternatif strategis tanpa menurunkan kualitas produk.

Dari aspek operasional dan ekonomis, formulasi optimum mampu meningkatkan pemanfaatan *short residue* hingga 40%, sehingga memberikan nilai tambah terhadap produk bernilai rendah menjadi bahan bakar yang memenuhi standar internasional. Reformulasi ini juga berdampak positif terhadap efisiensi pembakaran, pengurangan emisi, serta potensi penghematan energi pada sistem pemanasan bahan bakar. Dengan demikian, penelitian ini memberikan kontribusi praktis dalam pengembangan strategi blending yang optimal, adaptif terhadap regulasi global, dan aplikatif pada kondisi aktual kilang.

#### Daftar Pustaka

- [1] Budiyanto, M. A. & Dawangi, I. D., 2022. *Studi literatur pengoperasian hemat bahan bakar untuk rencana pengelolaan kapal hemat energi*. Pros. SNTTM XX, pp. 13-14.
- [2] Kusumawati, E. D., 2025. *Integrasi transportasi laut berbasis green logistics untuk meningkatkan nilai tambah pemasaran produk maritim*. JURNAL TRANSPORTASI DAN MANAJEMEN MARITIM (TRANSMA), Vol. 1, No. 2, pp. 104-111.
- [3] Lazuardi, S. D., Nugroho, S., & Faida, E. E., 2020. *Analisis dampak penerapan kebijakan global sulphur cap 2020 pada pelayaran tanker dan petikemas di indonesia*. Tekmapro: Journal of Industrial Engineering and Management, Vol. 15, No. 1, pp. 57-67.
- [4] Marsudi, S. & Yanti, D. A. W., 2025. *The impact of fuel quality on the performance and maintenance of the ship's main engine*. Jurnal Aplikasi Pelayaran dan Kepelabuhanan, Vol. 16, No. 1, pp. 154-162.
- [5] Speight, J. G., 2024. *Hydrogen production processes in refining technology*. CRC Press.
- [6] Saputra, A. A., Wijaya, S. M., Astuti, E., & Rahayu, A., 2024. *Potential blending of short residues, automotive diesel oil (ado) and kerosene for marine fuel oil (MFO) low sulphur 180 export quality at PT. XYZ using h-cams simulation*. Sains Natural: Journal of Biology and Chemistry, Vol. 14, No. 1, pp. 13-23.
- [7] Liu, J., Su, Q., Moreno, M., Laird, C., Nagy, Z., & Reklaitis, G., 2018. *Robust state estimation of feeding–blending systems in continuous pharmaceutical manufacturing*. Chemical Engineering Research and Design, Vol. 134, pp. 140-153.
- [8] Rodríguez-Fernández, J., Hernández, J. J., Calle-Asensio, A., Ramos, Á., & Barba, J., 2019. *Selection of blends of diesel fuel and advanced biofuels based on their physical and thermochemical properties*. Energies, Vol. 12, No. 11, p. 2034.
- [9] Rombanga, J. R., Sangiana, H. F., & Astriko, G. P. J., 2020. *Studi bahan bakar campuran biodiesel-diesel-etanol: Biodiesel dibuat dengan transesterifikasi tekanan tinggi*. JURNAL MIPA Учредители: Universitas Sam Ratulangi, Vol. 9, No. 2, p. 81.
- [10] Wang, Z. *et al.*, 2021. *Factors influencing the fate of oil spilled on shorelines: A review*. Environmental Chemistry Letters, Vol. 19, No. 2, pp. 1611-1628.
- [11] Sultanbekov, R., Islamov, S., Mardashov, D., Beloglazov, I., & Hemmingsen, T., 2021. *Research of the influence of marine residual fuel composition on sedimentation due to incompatibility*. Journal of Marine Science and Engineering, Vol. 9, No. 10, p. 1067.
- [12] Murtafi'in, A., Mualim, A., & Setiyono, A., 2023. *Pra studi kelayakan unit distilasi vakum pada mini refinery plant dengan kapasitas 18.000 barrel per stream day di Bojonegoro*. Lembaran publikasi minyak dan gas bumi, Vol. 57, No. 3, pp. 157-166.
- [13] Artemeva, Z. N., Dyachkova, S., Kuzora, I., Vakulskaya, T., Pavlov, D., & Lonin, M., 2020. *Low-viscosity marine fuel based on heavy diesel fractions of secondary origin: Problems and solutions*. Petroleum Chemistry, Vol. 60, No. 9, pp. 1100-1107.
- [14] M Aboul-Fotouh, T., Alaa, E., Sadek, M., & Elazab Dr, H. A., 2019. *Physico-chemical characteristics of ethanol–diesel blend fuel*.
- [15] Shah, Z., Veses, R. C., Vagheti, J. C., Amorim, V. D., & Silva, R. d., 2019. *Preparation of jet engine range fuel from biomass pyrolysis oil through hydrogenation and its comparison with aviation kerosene*. International Journal of Green Energy, Vol. 16, No. 4, pp. 350-360.