

Analisa Ekonomi Pemanfaatan Gas LNG Sebagai Bahan Bakar Penggerak Kapal Ferry

I Gede jaya Parwatha^{#1}, Cahya Kusuma^{*2}, Mahendra Indriyanto^{#3}

^{#1}*Sekolah Staf dan Komando Angkatan Laut, Cipulir, Jakarta, Indonesia*

^{#1}*Sekolah Tinggi teknologi Angkatan laut, Bumimoro, Surabaya, Indonesia*

^{#1}*Badan Riset dan Inovasi Nasional Kawasan Surabaya, Indonesia*

¹igede.jayast@gmail.com

²kusumacahya99@gmail.com

³indriyanto@gmail.com

Abstract Sebagai salah satu sumber bahan bakar untuk penggerak kapal, solar merupakan bahan bakar pokok yang selama ini di gunakan pada mesin diesel pada sebuah kapal dimana keberadaanya sudah semakin terbatas. Sedangkan cadangan natural gas di indonesia pada saat ini masih relatif lebih banyak jika di dibandingkan dengan bahan bakar fosil. Untuk itu pada studi ini kita mencoba membahas analisa ekonomi penggunaan solar sebagai bahan bakar utama dan gabungan solar dengan LNG (*Liquefied Natural Gas*) Dual Fuel pada kapal ferry di Indonesia. Dimana hasil analisa ini dapat di gunakan sebagai pembandingan pemanfaatan energi keduanya, jika di lihat dari sisi ekonomi penggunaanya. Penggantian solar dengan duel fuel LNG dapat menghemat 74,54% biaya bahan bakar selama 12 jam operasi kapal ferry.

Keywords *Dual Fuel, Ekonomi, LNG, Solar*

I. INTRODUCTION

Indonesia adalah Negara kepulauan terbesar di dunia dengan jumlah pulau terbanyak kedua di dunia setelah Finlandia[1][2]. Banyaknya pulau pulau menyebabkan Indonesia membutuhkan banyak kapal Ferry yang menghubungkan pulau pulau tersebut. Karena tidak semua laut antar pulau memungkinkan di buat jembatan karena kedalaman laut atau rawan bencana dan arus laut yang terlalu besar sehingga kapal ferry menjadi pilihan transportasi yang penting untuk menghubungkan pulau pulau di Indonesia. Banyaknya kapal Ferry tersebut membuat peluang dan tantangan untuk bagaimana mengoperasikan kapal ferry dengan lebih efisien dan ramah lingkungan. Global Marine technology Trends 2030 yang juga menjelaskan bahwa trend perkembangan teknologi kemaritiman pada decade 2030 kedepan salah satunya aalah perbaikan lingkungan laut dengan pengurangan emisi dari operasional kapal[3]. Salah satu alternatifnya adalah penggunaan LNG sebagai bahan bakar kapal[4][5][6]. Pada penelitian ini penulis fokus pada penerapan LNG sebagai bahan bakar pada kapal ferry karena Indonesia membutuhkan banyak kapal ferry yang ditinjau dari segi keekonomian[7][8][9]. Kapal ferry yang semula dengan diesel konvensional dirubah menjadi duel fuel dengan LNG[10]. Penelitian sebelumnya telah membuktikan kapal LCT dengan diesel konvensional di rubah menjadi dual fuel dengan LNG[11]. Beberapa penelitian sebelumnya telah membahas duel fuel LNG pada kapal dengan hasil LNG dapat diterapkan di kapal dengan metode dual fuel[12][6][13][14][15][16].

Liquefied Natural Gas (LNG) adalah gas alam yang dicairkan. Perusahaan energi pelat merah, PT Pertamina menawarkan penggunaan gas alam cair (liquefied natural gas/LNG) untuk bahan bakar bagi sektor transportasi dan rumah tangga. Pasokan yang melimpah di Tanah Air merupakan keunggulan LNG untuk menjadi bahan bakar alternatif dibandingkan Compressed Natural Gas (CNG) yang masih harus impor. LNG lebih ramah lingkungan dibandingkan dengan bensin dan solar, karena dapat mengurangi emisi sekitar 85 persen. Dalam penggunaannya, dibanding CNG, LNG memiliki nilai densitas energi tiga kali lebih besar pada volume yang

sama dan memiliki jarak tempuh lebih panjang. “Penggunaan LNG sebagai bahan bakar juga mampu mengurangi biaya operasional, karena harga LNG sekitar US\$18-20 per mmbtu. Jauh lebih murah dibandingkan solar industri sebesar Rp 17.500 per liter atau setara dengan US\$31 per mmbtu[5].

Penggunaan LNG sebagai bahan bakar untuk kapal sangat efektif bagi pelayaran jarak pendek. Riset tentang pemanfaatan LNG sebagai bahan bakar kapal telah dilakukan seperti penggunaan LNG sebagai dual fuel [17] Indonesia memiliki banyak pulau kecil sehingga penggunaan LNG sebagai bahan bakar kapal memiliki efek positif pada biaya operasi kapal. Dengan melihat efek positif penggunaan LNG sebagai bahan bakar pada kapal maka penulis melakukan penelitian dengan judul analisa ekonomi pemanfaatan gas LNG sebagai bahan bakar penggerak (dual fuel) kapal ferry. Kebutuhan LNG kapal bias di supply dengan pembuatan bunkering di setiap jalur penyeberangan kapal Ferry.

II. METHOD

Liquefied Natural Gas (LNG) adalah gas alam yang dicairkan dengan didinginkan hingga mencapai suhu -162 °C pada tekanan 1 atm. LNG mempunyai komposisi kimia terbanyaknya adalah Methana lalu sedikit Ethana, Propana, Butana dan sedikit sekali Pentana dan Nitrogen. LNG mempunyai beberapa karakteristik khusus (LNG Cargo Operation Manual by NKK Corporation, 2-2) antara lain :

- Temperatur LNG disimpan dan dikapalkan pada temperatur yang dijaga antara -1570°C sampai dengan -1600°C. Karena suhunya yang sangat dingin, maka dibutuhkan material yang khusus dalam membuat alat penyimpanannya yaitu campuran dari stainless steel, aluminium, 9% atau 36% nickel steel, cooper.
- LNG Vapor Pressure LNG dikapalkan pada tekanan yang dijaga antara 108 sampai dengan 123 KPa absolute. Pada tekanan ini dan temperatur yang diindikasikan di atas, LNG tepat berada pada titik dididahnya. Tekanan uap akan naik sangat cepat ketika temperature LNG naik (sekitar 5 bar pada -1400C dan 12bar pada suhu 1200C).
- LNG Density dari LNG adalah sekitar setengah dari density air, kurang lebih antara 0,42 dan 0,48 g/cm³
- Colourless and Odourless LNG adalah sejenis cairan yang tidak berwarna dan tidak berbau. Gas yang dihasilkan dari proses penguapan LNG juga tidak berbau dan tidak berwarna. Hanya ketika akan dikirim kepada konsumen pengguna langsung maka gas ini akan diberi pengharum untuk pendeteksiian terhadap kebocoran
- Flammable Limits Jika terdapat 5% sampai dengan 14% dari LNG di dalam udara, akan menciptakan campuran yang mudah meledak. Dalam rangka menjaga terciptanya situasi di atas maka tekanan di dalam tangki harus dijaga sedikit di atas tekanan atmosfer.
 - Mempunyai daya hantar listrik yang rendah.
 - Mudah menguap
 - Low viscosity (kekentalannya rendah).
 - Hampir tidak mempunyai daya larut di dalam air
 - Tidak membakar kulit dan tidak beracun (*non toxic*)

Penggunaan LNG sebagai bahan bakar memberi perbaikan lingkungan yang besar dan dapat diharapkan bahwa LNG menjadi lebih hemat biaya. Keuntungan terbesar adalah emisi yang lebih rendah dan udara bersih di pelabuhan dan kota-kota di sepanjang laut [18][19].

Gas alam merupakan bahan bakar yang sangat baik untuk mesin pembakaran internal, karena beberapa sifat bahan bakar yang memungkinkan untuk merancang mesin berbahan bakar gas dengan efisiensi tinggi dan emisi gas buang yang rendah. Berikut ini adalah alasan teknis sehingga gas alam dapat digunakan sebagai bahan bakar kapal [20][21]:

- Kandungan metana yang tinggi sehingga rasio daya tinggi
- Mudah dicampur dengan udara dan terbakar pada kecepatan tinggi bahkan pada pemasukan udara yang banyak. Hal ini untuk menghindari terjadinya suhu dan tekanan yang tinggi selama pembakaran, sehingga mengurangi emisi NO_x sebanyak 90% dibandingkan minyak solar dan MDO (marine diesel oil). Hal ini juga memungkinkan untuk mendapatkan efisiensi yang tinggi.
- Tidak mengandung Sulfur karena itu tidak ada emisi SO_x dan tidak ada partikulat.

Undang-undang dan faktor lingkungan merupakan masukan yang sangat kuat untuk kelanjutan masa depan dalam pengembangan LNG sebagai bahan bakar kelautan. Teknologi ini sudah tersedia dan terbukti baik tetapi akan membutuhkan adaptasi lebih lanjut. LNG sebagai bahan bakar ini cocok untuk berbagai jenis kapal.

Minyak solar merupakan bahan bakar senyawa hidrokarbon alkana (rumus alkana C_nH_{2n+2}) yang memiliki atom karbon dari C₁₄ – C₁₈. Minyak solar adalah bahan bakar jenis distilat berwarna kuning

kecoklatan yang jernih. Penggunaan minyak solar pada umumnya adalah untuk bahan bakar pada semua jenis mesin diesel dengan putaran tinggi (di atas 1000 rpm). Minyak solar ini biasa disebut juga Gas oil, Automotive Diesel Oil, High Speed Diesel. Untuk saat ini angka cetane solar yang ada di pasaran adalah 48.

Solar merupakan bahan bakar untuk mesin diesel yang memiliki karakteristik yang berbeda dengan bensin, salah satu perbedaannya adalah angka oktan untuk bensin dan angka cetane untuk solar. Perbedaan ini digunakan sesuai dengan prinsip kerja dari masing – masing mesin. Angka oktan adalah kemampuan bahan bakar untuk tidak mudah terbakar atau menunggu rambatan api dari busi, sedangkan angka cetane adalah kemampuan bahan bakar untuk terbakar lebih cepat setelah diinjeksikan ke ruang bakar. Semakin cepat suatu bahan bakar mesin diesel terbakar setelah diinjeksikan ke ruang bakar, semakin baik (tinggi) angka cetane dari bahan bakar tersebut.

Mesin diesel merupakan salah satu jenis dari motor bakar dalam, berbeda dengan mesin bensin, proses penyalanya bukan dengan loncatan api listrik. Pada mesin diesel, penyalan bahan bakar terjadi karena bahan bakar diinjeksikan ke dalam silinder yang berisi udara dengan kondisi temperatur dan tekanan tinggi[22]. Oleh sebab itu, mesin diesel disebut juga mesin dengan penyalan kompresi. Mesin dengan penyalan kompresi ini menghasilkan emisi gas buang yang cukup tinggi dan berbahaya bagi kesehatan dan lingkungan sekitar. Kadar yang tinggi dari nitrogen oksid (NOx), karbon monoksida (CO), karbon dioksida (CO₂) dan partikel emisi lain yang berhubungan dengan bahan bakar diesel merupakan isu yang telah lama muncul[23][24]. Akan tetapi, sampai saat ini penggunaan mesin diesel tetap menjadi idola dalam dunia transportasi maupun dunia industri. Hal ini dikarenakan karakteristik dari mesin diesel yang memiliki rasio kompresi tinggi sehingga mampu menghasilkan daya yang besar.

Daya dari mesin sangat dipengaruhi oleh faktor bahan bakar dan udara, mulai dari karakteristiknya sampai perbandingan campuran keduanya. Koefisien kelebihan udara dengan simbol α merupakan koefisien yang digunakan untuk menyatakan apakah banyaknya udara yang digunakan sesuai dengan harga stokiometrinya. Campuran dianggap stokiometri jika $\alpha = 1$, campuran kaya bila $\alpha < 1$, dan campuran miskin bila $\alpha > 1$. Pada umumnya untuk motor diesel, harga koefisien kelebihan udaranya lebih besar dari 1 ($\alpha > 1$). Besar kecilnya jumlah energi kalor yang dihasilkan dari proses pembakaran bergantung pada komposisi campuran bahan bakar – udara yang diberikan.

Selain faktor bahan bakar dan udara, rasio kompresi juga sangat mempengaruhi daya yang dihasilkan oleh mesin, dimana semakin besar rasio kompresi maka semakin besar pula daya yang dihasilkan, rasio kompresi adalah perbandingan antara volume langkah torak dan volume sisa pada ruang bakar. Rasio kompresi untuk motor diesel berada pada harga $r = 12 - 25$, sedangkan rasio kompresi motor diesel berada pada harga $r = 12 - 24$ [25], walaupun rasio kompresi mempengaruhi daya yang dihasilkan tapi tidak serta merta meningkatkan harga dari rasio kompresi, hal ini disebabkan karena karakteristik bahan bakar yaitu tergantung angka cetane (motor diesel) dan angka oktan (motor bensin). Jika rasio kompresi terlalu tinggi maka akan terjadi *knocking* atau ketukan yang bisa berbalik menurunkan daya.

III. RESULT AND DISCUSSION

Berdasarkan pemaparan dasar teori di atas, merupakan salah satu bagian metodologi pada penelitian ini. Dimana studi literatur merupakan suatu rujukan secara teknis dalam melaksanakan perhitungan analisa ekonomi perbandingan penggunaan solar dengan dual feul. Sehingga diharapkan dari hasil perhitungan dapat dimanfaatkan sebagai pembandingan dari segi ekonomi jika kapal menggunakan dual feul maupun solar. Adapun data kapal yang di dapat dari studi literatur sebagai berikut,



Gambar 1. Tipe Kapal Ferry

| | |
|---------------------------|-----------|
| Panjang Keseluruhan (LoA) | 146.5m |
| Lebar Kapal(Bm) | 23.4m |
| Draft | 5.9m |
| Gross ton(GT) | 14800 ton |

(Tabel 1. Ukuran Utama Kapal)

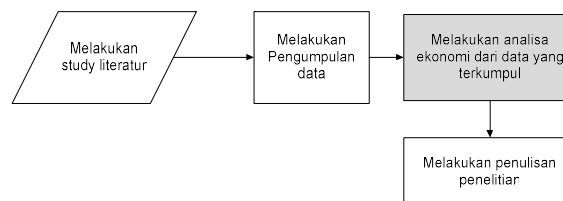
A. Diesel Engine

Main Engine : MAK
 Type : MAK 8 M 601 C
 Rated Power : 8520 kW
 Rated Speed : 428 rpm
 Firing Order : 1 -3-2-5-8-6-7-4
 Bore / Stroke : 580 mm / 600 mm
 Charger Type : VTR 564-11
 Max Speed : 13980 rpm

B. Aux Engine : DAIHATSU

Type : 6DL-24
 Rated Power : 882 kW
 Rated Speed : 750 rpm
 Firing Order : 1 -5-3-6-2-4
 Bore / Stroke : 240 mm / 320 mm
 Generator : TAIYO
 Out Put : 1000 kVA/800 kW/400V
 Rated Speed : 750 rpm
 FREQ : 50 Hz

Berdasarkan data diatas, dapat di buat langkah –langkah kegiatan analisa sebagai berikut,



Gambar 2. Flowchart Alur Pengerjaan

Penelitian ini terdiri dari 4 tahap yaitu melakukan studi literatur mengenai manfaat LNG, kemudian mengumpulkan semua data yang dibutuhkan, dilanjutkan dengan melakukan analisis ekonomi dari data yang ada dan melakukan penarikan kesimpulan dan penulisan penelitian.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Data teknis dan operasional kapal pada beban penuh (*full load*) untuk *Starboard Engine* yang digunakan sebagai data perhitungan,

| | |
|--------------------------------------|-----------------|
| Daya output mesin (Ne) | : 8520 kW |
| Putaran mesin (n) | : 428 rpm |
| Kecepatan mesin | : 22,4 knot |
| Length over all (LOA) | : 146,50 m |
| Tekanan efektif rata-rata (solar) | : 18,8 bar |
| Tekanan maks. embakaran (pz) (solar) | : 152 bar |
| Temperatur udara luar | : 250C |
| Tekanan udara luar | : 1,025 bar |
| Turbocharger (tekanan udara masuk) | |
| - Sebelum cooler | : 1,995 bar |
| - Setelah cooler (psup) | : 1,960 bar |
| Charge air cooler | |
| - Temperatur udara masuk | : 1660C |
| - Temperatur udara keluar (Tsup) | : 51 0C |
| Jumlah Silinder (i) | : 8 silinder |
| Stroke (langkah) (z) | : 4 |
| Diameter silinder (D) | : 0,58 m |
| Piston Stroke (L) | : 0,6 m |
| Perbandingan kompresi (ε) | : 13,15 |
| Nilai kalor bahan bakar solar (Ql) | : 42276 kJ / kg |
| Nilai kalor bahan bakar gas (Ql) | : 55206 kJ / kg |

A. Perhitungan Konsumsi Bahan Bakar *Dual Fuel* Pada Mode Gas

- Volume tangki bahan bakar LNG
$$= 2 \times N_e \times 70\% \times SFC_{LNG} \times \left(\frac{1}{\rho_{LNG}}\right)$$
$$= 2 \times 8250 \times 0.7 \times 0.140 \times (1/770)$$
$$= 2.1 \text{ m}^3/\text{h}$$
- Untuk perjalanan selama 12 jam
$$= 2.1 \text{ m}^3/\text{h} \times 12 \text{ h}$$
$$= 25.2 (10\% \times 25.2)$$
$$= 27.72 \text{ m}^3 \times 770 \text{ kg/m}^3$$
$$= 21.344 \text{ ton}$$

Jika harga LNG Rp. 3700/ltr maka total biaya yang perlu di keluarkan guna menggerakkan mesin pokok dengan durasi waktu 12 jam adalah,

$$= 21.344 \text{ ton} \times 3700$$
$$= \text{Rp. } 78.972.800,-$$

B. Perhitungan Bahan Bakar dengan menggunakan Solar 100% adalah,

- Volume tangki bahan bakar LNG
$$= 2 \times 8250 \times 0.1874 \times (1/850)$$
$$= 3.638 \text{ m}^3/\text{h}$$
- Untuk perjalanan selama 12 jam
$$= 3.638 \text{ m}^3/\text{h} \times 12 \text{ h}$$

$$\begin{aligned} &= 43.653 (10\% \times 43.653) \\ &= 48.018 \text{ m}^3 \times 850 \text{ kg/m}^3 \\ &= 40.815 \text{ ton} \end{aligned}$$

Jika harga Solar subsidi Rp. 7600/ltr maka total biaya yang perlu di keluarkan guna menggerakkan mesin pokok dengan durasi waktu 12 jam adalah,

$$\begin{aligned} &= 40.815 \text{ ton} \times 5600 \\ &= \text{Rp. } 310.194.000,- \end{aligned}$$

VI. CONCLUSIONS

Dari data di atas dapat di simpulkan bahwa total biaya pengoperasian selama 12 jam diesel engine dengan menggunakan LNG adalah Rp. 78.972.800,- sedangkan dengan menggunakan solar adalah Rp. 228.567.948,- sehingga dapat di lakukan penghematan anggaran sebesar

$$\begin{aligned} &= (310.194.000 - 78.972.800) / 310.194.000 \times 100 \% \\ &= 74,54\% \end{aligned}$$

Selain terjadi pengematan dari segi ekonomi efek gas buang dari LNG tidak terlalu mencemari jika di bandingkan dengan solar. Namun ada kendala jika menerapkan penggunaan LNG pada kapal jenis komersial lainya selain kapal pengangkut LNG, yaitu belum tersedianya stasiun pengisian LNG untuk kapal –kapal komersial. Sehingga membuat aplikasi pemanfaatan LNG untuk kapal komersial kurang maksimal.

ACKNOWLEDGMENT

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Sekolah Staf dan Komando Tentara Nasional Indonesia Angkatan Laut, Sekolah Tinggi Teknologi Angkatan Laut dan Badan Riset dan Inovasi Nasional, yang telah memberikan fasilitas dan dukungan sehingga terselesaikanya penelitian ini.

REFERENCES

- [1] Marsetio, “Sea Power Indonesia.” Unhan, Jakarta, pp. 1–148, 2014.
- [2] Marsetio, *Aktualisasi Peran Pengawasan Wilayah Laut Dalam Mendukung Pembangunan Indonesia Sebagai Negara Maritim Yang Tangguh*, 2013th ed. 2013.
- [3] G. 2030, “Global Marine Technology Trends 2030 Global Marine Technology Trends 2030”.
- [4] J. Herdzik, “LNG as a marine fuel - possibilities and problem,” *J. KONES*, vol. 18, no. 2, pp. 169–176, 2011.
- [5] M. A. Arefin, M. N. Nabi, M. W. Akram, M. T. Islam, and M. W. Chowdhury, “A review on liquefied natural gas as fuels for dual fuel engines: Opportunities, challenges and responses,” *Energies*, vol. 13, no. 22, 2020, doi: 10.3390/en13226127.
- [6] Y. Siahaya, “Manfaat Pemakaian LNG Sebagai Bahan Bakar Utama Mesin Kapal Benefits of Use LNG as Material Main Engine Fuel Ship,” *Pen Transla*, vol. 16, no. 03, pp. 87–92, 2014.
- [7] N. R. Ammar, “Environmental and cost-effectiveness comparison of dual fuel propulsion options for emissions reduction onboard lng carriers,” *Brodogradnja*, vol. 70, no. 3, pp. 61–77, 2019, doi: 10.21278/brod70304.
- [8] B. Zhang, Y. Jiang, and Y. Chen, “Research on Calibration, Economy and PM Emissions of a Marine LNG–Diesel Dual-Fuel Engine,” *J. Mar. Sci. Eng.*, vol. 10, no. 2, 2022, doi: 10.3390/jmse10020239.
- [9] M. A. Prakoso, “Studi Kelayakan Penentuan Umur Kapal Penumpang Untuk Konversi Diesel Engine Menjadi Dual Fuel Diesel Engine Dengan Metode Dinamika System (System Dynamics),” p. 173, 2017, [Online]. Available: <http://repository.its.ac.id/45476/>

- [10] H. Palebangan, "Analisis Kapal Berbahan Bakar LNG sebagai Marine Fuel dalam Mengurangi Emisi Gas Buang Terhadap Lalu Lintas Kapal di Pelabuhan Bitung," *War. Penelit. Perhub.*, vol. 31, no. 1, pp. 25–34, 2019, doi: 10.25104/warlit.v31i1.912.
- [11] A. A. Masroeri, "Technical and Economical Analysis of LCT (Landing Craft Tank) Vessel Conversion into NonConventional LNG (Liquid Natural Gas) Carriers," no. Msmi, pp. 322–329, 2018, doi: 10.23977/msmi.2018.82635.
- [12] G. B. B. Pratama and H. A. Kurniawati, "Desain Dual Fuel LNG Carrier untuk Suplai Bahan Bakar LNG di Alur Pelayaran Barat Surabaya (APBS)," *J. Tek. ITS*, vol. 6, no. 2, pp. 2–7, 2017, doi: 10.12962/j23373539.v6i2.23639.
- [13] C. Wan, X. Yan, D. Zhang, J. Shi, and S. Fu, "Facilitating AHP-TOPSIS method for reliability analysis of a marine LNG-Diesel Dual Fuel Engine," *Int. J. Performability Eng.*, vol. 10, no. 5, pp. 453–466, 2014.
- [14] G. H. Tzeng, C. H. Chiang, and C. W. Li, "Evaluating intertwined effects in e-learning programs: A novel hybrid MCDM model based on factor analysis and DEMATEL," *Expert Syst. Appl.*, vol. 32, no. 4, pp. 1028–1044, 2007, doi: 10.1016/j.eswa.2006.02.004.
- [15] A. Boretti, "Numerical analysis of high-pressure direct injection dual-fuel diesel-liquefied natural gas (LNG) engines," *Processes*, vol. 8, no. 3, pp. 1–22, 2020, doi: 10.3390/pr8030261.
- [16] E. Stefana, F. Marciano, and M. Alberti, "Qualitative risk assessment of a Dual Fuel (LNG-Diesel) system for heavy-duty trucks," *J. Loss Prev. Process Ind.*, vol. 39, pp. 39–58, 2016, doi: 10.1016/j.jlp.2015.11.007.
- [17] M. A. Prakoso, "Studi Kelayakan Penentuan Umur Kapal Penumpang Untuk Konversi Diesel Engine Menjadi Dual Fuel Diesel Engine Dengan Metode Dinamika System (System Dynamics)," p. 173, 2017.
- [18] K. Cheenkachorn, C. Poompipatpong, and C. G. Ho, "Performance and emissions of a heavy-duty diesel engine fuelled with diesel and LNG (liquid natural gas)," *Energy*, vol. 53, pp. 52–57, 2013, doi: 10.1016/j.energy.2013.02.027.
- [19] E. Lindstad, G. S. Eskeland, A. Riialand, and A. Valland, "Decarbonizing maritime transport: The importance of engine technology and regulations for LNG to serve as a transition fuel," *Sustain.*, vol. 12, no. 21, pp. 1–19, 2020, doi: 10.3390/su12218793.
- [20] V. Mrzljak, I. Poljak, and V. Medica-Viola, "Dual fuel consumption and efficiency of marine steam generators for the propulsion of LNG carrier," *Appl. Therm. Eng.*, vol. 119, pp. 331–346, 2017, doi: 10.1016/j.applthermaleng.2017.03.078.
- [21] Z. Tian, Y. Yue, Y. Zhang, B. Gu, and W. Gao, "Multi-objective thermo-economic optimization of a combined organic Rankine cycle (ORC) system based on waste heat of dual fuel marine engine and LNG cold energy recovery," *Energies*, vol. 16, no. 3, 2020, doi: 10.3390/en13061397.
- [22] John B. Heywood, "heywood_internal_combustion_engines_fundamentals.pdf." pp. 1–481.
- [23] Klaus Mollenhauer _ Helmut Tschoeke, *Handbook of Diesel Engines*. Springer Heidelberg Dordrecht London New York, 20189. doi: 10.1007/978-3-540-89083-6.
- [24] Doug Woodyard, "Marine Diesel Engines and Gas Turbines," 2004, doi: ISBN 0 7506 5846 0.
- [25] B. Challen and R. Baranescu, *Diesel engine reference book*, vol. 14, no. 3. 1987. doi: 10.1016/0378-3804(87)90022-2.

