

Environmentally Friendly Maritime Fuel Alternative: A Review**Alternatif Bahan Bakar Maritim Ramah Lingkungan: Tinjauan****Reza Meilinda^a, Putri Amelia Ningsih^a, Dian Anggraini^a, Hilfi Pardi^{a,*}**

^a*Program Studi Pendidikan Kimia, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Universitas Maritim Raja Ali Haij, Jl. Raya Dompok, Kec. Bukit Bestari, Kota Tanjungpinang, Kepulauan Riau 29115, Indonesia*

*Corresponding author: hilfipardi@umrah.ac.id

Diterima: 12 December 2023, Direvisi: 24 Juni 2024, Diterbitkan: 28 Juli 2024

ABSTRACT

Indonesia is an archipelagic country with an ocean area wider than land. Indonesia's maritime areas contain many maritime activities, including shipping and trade. This activity causes a lot of domestic and foreign transportation to pass through Indonesia's maritime areas. It is not uncommon for domestic and international sea transportation to release waste emissions from their fuel onto the sea surface which causes marine damage. This article was created to summarize previous research to make it easier for readers to find out the appropriate types of maritime chemical fuels, combustion and exhaust emissions, as well as reducing pollution from combustion. The review of studies uses a comparative approach, collecting sources from Google Scholar and PubMed databases and national and international publications. The results of research based on literature studies show that the most effective maritime fuels used, namely liquefied natural gas (LNG) and hydrogen, are good candidates to replace the fuels currently used because they do not contain sulfur, so they do not produce sulfur emissions (SO_x). Of course, it supports environmental sustainability.

Keywords: *maritime areas, sea transportation, maritime fuel*

ABSTRAK

Negara Indonesia termasuk kedalam negara kepulauan dengan wilayah lautan lebih luas daripada daratan. Wilayah lautan Indonesia banyak terdapat aktivitas kemaritiman, salah satunya adalah pelayaran dan perdagangan. Aktivitas tersebut menyebabkan ramainya transportasi dalam maupun luar negeri melewati wilayah maritim Indonesia. Tidak jarang transportasi laut dalam maupun luar negeri membuang emisi zat buang dari bahan bakarnya ke permukaan laut yang menyebabkan kerusakan laut. Artikel ini dibuat dengan tujuan untuk merangkum penelitian-penelitian terdahulu agar memudahkan pembaca dan untuk mengetahui jenis-jenis bahan bakar kimia maritim yang sesuai, pembakaran, dan emisi gas buang, serta pengurangan polusi dari pembakaran. Tinjauan studi menggunakan pendekatan komparatif, mengumpulkan sumber dari database *Google Scholar* dan *PubMed*, serta publikasi nasional dan internasional. Hasil penelitian berdasarkan studi literatur, bahan bakar maritim yang paling efektif digunakan, yaitu gas alam cair (LNG) dan hidrogen yang merupakan kandidat yang baik untuk menggantikan bahan bakar yang digunakan saat ini karena keduanya tidak mengandung sulfur, maka tidak menghasilkan emisi sulfur (SO_x) yang tentunya sangat mendukung kelestarian lingkungan.

Kata kunci: *wilayah maritim, transportasi laut, bahan bakar maritim*

PENDAHULUAN

Lautan adalah salah satu aset alam yang paling berharga di bumi kita, akan tetapi dikarenakan adanya tekanan yang semakin meningkat pada lingkungan maritim memunculkan kebutuhan yang mendesak dalam mencari solusi yang berkelanjutan dalam sektor transportasi laut. Salah satu aspek yang krusial dalam perjalanan menuju kelautan yang lebih ramah lingkungan adalah bahan bakar (Xing et al., 2021). Bahan bakar yang digunakan dalam industri perkapalan telah menjadi sumber polusi yang signifikan, mengancam keberlanjutan ekosistem laut dan menghasilkan emisi gas rumah kaca yang berkontribusi terhadap perubahan iklim global.

Dalam artikel ini, akan dibahas mengenai perkembangan terbaru dalam upaya menuju bahan bakar yang lebih ramah untuk laut, yaitu membahas berbagai teknologi dan inovasi yang telah diperkenalkan guna mengurangi pengaruh negatif dari pemakaian bahan bakar konvensional dalam sektor maritim. Dari bahan bakar alternatif yang lebih bersih hingga penerapan teknologi efisiensi tinggi, upaya ini membawa harapan bahwa kita dapat melindungi dan menjaga lingkungan laut kita untuk generasi yang akan datang.

Artikel ini juga akan membahas tantangan dan hambatan yang masih ada dalam upaya menuju bahan bakar yang lebih ramah lingkungan untuk laut, serta potensi dampak positifnya, baik dari segi lingkungan maupun ekonomi. Dengan fokus pada inovasi dan solusi yang sedang berkembang, kita dapat merancang masa depan transportasi laut yang lebih berkelanjutan yang selaras dengan tujuan global untuk menjaga lautan kita sebagai aset berharga yang membutuhkan perlindungan.

Bahan bakar yang ramah lingkungan untuk laut maritim sangat penting dalam upaya mengurangi dampak negatif sektor perkapalan terhadap ekosistem laut dan atmosfer. Bahan bakar yang umum digunakan di kapal, seperti bahan bakar diesel, memiliki emisi gas rumah kaca dan polusi udara yang tinggi.

Teknologi efisiensi, yaitu menggunakan teknologi yang lebih efisien, seperti *turbocharger*, dapat membantu mengurangi konsumsi bahan bakar. Kapal Layar yaitu kapal dengan layar angin atau teknologi sejenis dapat memanfaatkan tenaga angin untuk mengurangi konsumsi bahan bakar (Elkafas et al., 2023). Pemakaian bahan bakar ramah lingkungan ini bisa membantu menanggulangi/mengurangi dampak negatif perkapalan terhadap lingkungan

laut dan membantu mencapai tujuan berkelanjutan dalam industri maritim.

METODE PENELITIAN

Teknik studi komparatif diperlukan dalam review jurnal ini, yang membutuhkan pengumpulan dari berbagai jurnal penelitian. Hal ini berhubungan dengan literatur review yang digunakan sebagai bahan pendukung untuk pemecahan masalah yang sedang diteliti dengan adanya landasan teori yang mendasar. Untuk lebih bisa mengetahui permasalahan yang sedang diteliti dengan

benar maka harus ada langkah awal pada teori yang didapatkan. Database *Google Scholar* dan *PubMed* digunakan untuk melakukan pencarian jurnal penelitian berbahasa Inggris dan Indonesia, serta jurnal internasional dan nasional.

PEMBAHASAN

Hasil review artikel memuat tentang jenis-jenis bahan bakar maritim, pembakaran, dan emisi gas buang, serta cara pengurangan polusi dari pembakaran. Adapun hasil penelitian terdahulu yang dicantumkan pada **Tabel 1 dan 2**.

Tabel 1. Jenis-jenis bahan bakar maritim

No.	Jenis Bahan Bakar Maritim	Asal	Karakteristik	Keunggulan	Referensi
1.	Gas alam cair (LNG)	Gas alam cair adalah bahan bakar fosil yang biasanya diekstraksi dari reservoir bawah tanah yang terdiri dari campuran hidrokarbon,	Gas alam adalah zat yang tidak beracun, tidak korosif, tidak berwarna, dan tidak berbau.	LNG dianggap sebagai pilihan yang lebih baik dibandingkan solar dan bensin karena LNG lebih ramah lingkungan karena dapat mengurangi emisi sekitar 85 %.	(Parwatha et al., 2022)

2.	Bahan bakar Reformasi uap Hidrogen Hidrogen metana, Glasifikasi dan reformasi batu bara, Glasifikasi batu bara dan reformasi dengan CCS.	relatif mudah terbakar dengan adanya udara.	1)Hidrogen dianggap lebih menguntungkan dibandingkan bahan bakar lain karena kandungan energi per satuan massanya yang tinggi serta ketersediaan sumber utamanya (bila diproduksi dari air).	(Hassan et al., 2023)
			2) Berpotensi menggantikan bahan bakar konvensional berbasis minyak pada transportasi laut.	
3.	Bahan bakar Amonia Lebih dari 90% produksi amonia dunia dihasilkan melalui proses sintesis Haber-Bosch.	Amonia (NH ₃) dikenal sebagai gas yang tidak berwarna dan berbau menyengat pada suhu kamar dengan senyawa nitrogen dan hidrogen. Amonia murni	1)Terkait dengan penyalaan atau ledakan yang tidak disengaja, Amonia jauh lebih rendah dibandingkan bahan bakar lain karena tingkat reaktivitasnya yang rendah.	(Dhawale et al., 2023)

		bersifat higroskopis dan mudah larut dalam air dan kelembapan. N amun amonia bersifat korosif karena sifat basanya.	2) Amonia hijau adalah pilihan lain yang sedang dijajaki karena potensinya sebagai bahan bakar bebas emisi.
--	--	---	---

4.	Biofuel Laut	Bahan Bakar Biofuel adalah setiap bahan bakar baik padat, cairan ataupun gas yang dihasilkan secara langsung dari tanaman atau secara tidak langsung dari limbah industri, komersial, domestik/pertanian.	Biofuel adalah bahan bakar baik padat, cairan ataupun gas yang dihasilkan dari bahan-bahan organik. Biofuel dapat dihasilkan baik langsung dari tanaman maupun tidak langsung dari limbah industri, komersial, rumah tangga, atau pertanian.	Tidak terlepas (Wang et al., 2023) atas pertimbangan ekonomi, yaitu untuk mengurangi beban impor minyak mentah dan membuka lapangan kerja baru.
----	--------------	---	--	---

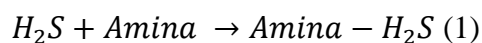
Gas Alam Cair (LNG)

Gas alam adalah gas alam yang sudah didinginkan hingga mencapai temperatur di bawah titik didihnya. Setelah didinginkan, gas alam menyusut hingga volumenya 600 kali lebih kecil dibandingkan volumenya dalam bentuk gas. Gas alam adalah zat yang tidak beracun, tidak korosif, tidak berwarna, dan tidak berbau (Parwatha et al., 2022). Konsentrasi senyawa ini bervariasi tergantung reservoirnya. Kemudian dimurnikan melalui beberapa tahap pengolahan untuk menghasilkan produk yang mengandung lebih dari 90% gas metana.

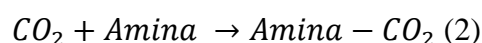
Gas alam cair (LNG) dapat dihasilkan melalui reaksi alamiah maupun reaksi sintesis. Reaksi alamiah, gas alam terbentuk dari dekomposisi bahan organik di bawah tekanan dan suhu tinggi selama jutaan tahun. Proses ini melibatkan mikroorganisme dan reaksi biokimia yang kompleks, menghasilkan campuran metana dan hidrokarbon lainnya (Lee et al., 2024).

Reaksi sintesis, pertama, pemurnian gas alam dimana gas alam mentah dibersihkan dari kontaminan seperti sulfur, karbon dioksida, dan uap air melalui reaksi kimia dan proses fisik. Gas alam mentah mengandung berbagai kontaminan seperti sulfur (H_2S), karbon dioksida (CO_2), nitrogen (N_2), dan air (H_2O).

- Penghilangan H_2S menggunakan proses amina:



- Penghilangan CO_2 menggunakan proses amina atau scrubbing:



Kedua, pencairan gas alam dimana gas alam yang telah dimurnikan didinginkan hingga sekitar $-162^\circ C$, sehingga berubah menjadi bentuk cair. Proses ini melibatkan penyerapan energi dan reaksi pendinginan yang kompleks.

LNG dianggap sebagai pilihan yang lebih baik dibandingkan solar laut karena menghasilkan emisi 85% lebih sedikit dibandingkan solar dan bensin (Parwatha et al., 2022). Karena itu, sangat penting untuk menjadikan LNG sebagai bahan bakar dengan demikian mencapai pengurangan lebih lanjut dampak lingkungan dari transportasi laut. Dengan LNG, emisi CO_2 dapat berkurang sekitar 25%, emisi NOX berkurang 90%, tidak ada emisi sulfur, debu, dan partikel lain (Lee et al., 2024).

Selain itu, dalam penggunaannya, 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

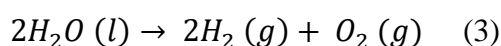
atau setara dengan US\$31per mmbtu Wang et al., 2023).

Tabel 2. Emisi gas buang yang dihasilkan bahan bakar maritim

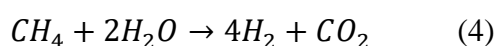
No.	Jenis Bahan Bakar Maritim	Emisi yang dihasilkan	Referensi
1.	Gas Alam Cair (LNG)	Dalam kondisi stoikiometri, mesin berbahan bakar LNG mengeluarkan CO ₂ 20,77% lebih sedikit dibandingkan mesin berbahan bakar diesel (HFO), namun pada kondisi nyata, penurunannya sebesar 23,68%. Penurunan emisi NO _x mesin berbahan bakar LNG (DF) dibandingkan mesin berbahan bakar solar (HFO) sebesar 77,62%. Karena seluruh komposisi bahan bakar LNG tidak mengandung sulfur, maka tidak ada emisi SO _x .	(Ariana et al., 2018)
2.	Bahan bakar Hidrogen	Sel bahan bakar hidrogen secara signifikan mengurangi emisi, termasuk menghilangkan nitrogen oksida (NO _x) dan sulfur oksida (SO _x).	(Herdzik, 2021)
3.	Bahan bakar Amonia	Kendaraan berbahan bakar amonia dapat mengurangi emisi GRK sekitar 63% dibandingkan kendaraan berbahan bakar bensin.	(Dhawale et al., 2023)
4.	Biofuel Laut	Biofuel laut mengurangi tingkat pencemaran emisi karbon.	(Bayraktar et al., 2023)

Hidrogen

Pembentukan bahan bakar hidrogen dapat dihasilkan melalui reaksi alamiah maupun sintesis. Reaksi alamiah, pembentukan hidrogen dapat dihasilkan melalui fotosintesis, yaitu sebagai sumber utama energi, fotosintesis menghasilkan bahan organik yang dapat diubah menjadi hidrogen melalui berbagai proses. Reaksi sintesis pembentukan hidrogen berasal dari elektrolisis air yaitu air (H₂O) diuraikan menjadi hidrogen (H₂) dan oksigen (O₂) melalui elektrolisis.



Selain elektrolisis air, reforming metana dengan uap juga dapat membentuk hidrogen dengan reaksi sebagai berikut.



Bahan bakar hidrogen mempunyai potensi untuk melayani berbagai sektor seperti transportasi, konstruksi, dan sektor industri. Bahan bakar bertenaga hidrogen berpotensi menggantikan bahan bakar konvensional berbasis minyak (Herdzik, 2021). Bahan bakar bertindak sebagai sarana untuk mengubah energi intrinsik yang biasanya disimpan dalam bahan bakar tertentu menjadi bentuk energi lain.

Masa depan energi global yang berkelanjutan dapat dicapai dengan memanfaatkan bahan bakar hidrogen selain bahan bakar ramah lingkungan lainnya

(Manoharan et al., 2019). Penting untuk dicatat bahwa hidrogen hanya dapat dianggap sebagai bahan bakar ramah lingkungan jika teknologi yang digunakan dalam pembangkitan dan konsumsinya juga ramah lingkungan.

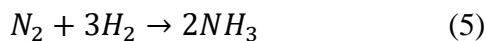
Bahan bakar hidrogen dapat menjadi pengganti bahan bakar transportasi konvensional. Ada beberapa metode produksi hidrogen yang memanfaatkan sumber berbeda. Hidrogen dianggap lebih menguntungkan dibandingkan bahan bakar lain karena kandungan energi per satuan massanya yang tinggi serta ketersediaan sumber utamanya.

Amonia

Amonia merupakan bahan bakar yang tidak mengandung karbon dalam komposisi kimianya. Terbarukan Fukushima (FREI) telah mengembangkan platform yang fleksibel terhadap bahan bakar untuk membakar amonia cair yang dihasilkan dari sumber terbarukan yang dikombinasikan dengan minyak tanah (Xing et al., 2021).

Amonia dapat dihasilkan melalui reaksi alamiah dan sintesis. Siklus nitrogen merupakan reaksi alamiah yang dapat membentuk amonia. Nitrogen yang berada di alam dapat ditemukan dalam bentuk gas nitrogen (N₂) yang diubah menjadi amonia (NH₃) melalui proses

alamiah seperti fiksasi nitrogen oleh bakteri. Reaksi sintesis yang dapat membentuk ammonia, yaitu proses Haber-Bosch: Nitrogen (N₂) dan hidrogen (H₂) direaksikan pada tekanan tinggi dan suhu tinggi dengan katalis besi untuk menghasilkan ammonia (NH₃).



Hal ini membuktikan bahwa peralatan tersebut dapat dioperasikan dengan menggunakan campuran amonia-minyak tanah pada berbagai konsentrasi, dimana turbin gas dimulai dengan minyak tanah yang kemudian digantikan oleh amonia. Beberapa perusahaan juga telah memulai program untuk meningkatkan pemahaman mereka tentang sistem berbahan bakar amonia.

Pengganti bahan bakar minyak lainnya dapat berupa amonia anhidrat (amonia tanpa air). Amonia diketahui memiliki banyak karakteristik yang diinginkan sebagai bahan bakar, sehingga berpotensi menarik sebagai media penyimpanan hidrogen. ontribusi proses produksi amonia terhadap emisi GRK dunia berjumlah sekitar 1%, sedangkan konsumsinya terhadap total energi primer dunia adalah sekitar 1,2% (Dhawale et al., 2023).

Biofuel Laut

Biofuel laut dapat terbentuk dari reaksi alamiah dan reaksi sintesis. Reaksi alamiah berupa fotosintesis alga, mikroalga menggunakan sinar matahari untuk mengubah karbon dioksida (CO₂) dan air (H₂O) menjadi biomassa melalui proses fotosintesis. Reaksi sintesis yang dapat membentuk biofuel laut yaitu transesterifikasi minyak alga. Minyak yang diekstrak dari alga kemudian direaksikan dengan alkohol untuk menghasilkan biodiesel (biofuel) dan gliserol sebagai produk sampingan.

Minyak nabati merupakan pengganti solar yang menjanjikan karena sifatnya yang terbarukan dan fakta bahwa minyak nabati dapat dengan mudah diproduksi di daerah pedesaan (Lee et al., 2024). Transesterifikasi adalah proses dimana alkohol monohidrat direaksikan dengan minyak nabati atau lemak hewani untuk menghasilkan Mono Alkyl Ester yang sesuai dengan bantuan katalis. Minyak nabati yang ditransesterifikasi disebut biodiesel, yang dapat dianggap sebagai alternatif bahan bakar diesel konvensional dalam sektor transportasi.

Selain menggantikan bahan bakar yang digunakan saat ini, biofuel dapat dicampur dengan bahan bakar berbasis hidrokarbon, sehingga berdampak pada penghematan bahan bakar. Meskipun

biofuel lebih ramah lingkungan, kendala teknis dan finansial mungkin menghambat pemanfaatan biofuel untuk transportasi laut (Wang et al., 2023).Tergantung pada jenis biofuel yang dikonsumsi, diperlukan beberapa bentuk modifikasi pada mesin dan tangki penyimpanan.

KESIMPULAN

Berdasarkan tinjauan penelitian yang sudah dilangsungkan bisa disimpulkan bahwa bahan baka maritim ramah lingkungan sangat dibutuhkan untuk menjaga wilayah maritim dan rantai makanan dari pencemaran emisi gas buang yang berasal dari transportasi maritim. Bahan bakar maritim ramah lingkungan yang ditawarkan dalam artikel ini, yaitu bahan bakar gas alam cair, hidrogen, amonia, dan biofuel laut. Tentunya ada keunggulan dan kelemahan dari keempat bahan bakar tersebut. Berdasarkan tinjauan penelitian bahan bakar maritim yang paling efektif digunakan, yaitu gas alam cair (LNG) dan hidrogen merupakan kandidat yang baik untuk menggantikan bahan bakar yang digunakan saat ini karena keduanya tidak mengandung sulfur, maka tidak menghasilkan emisi sulfur (SO_x) yang tentunya sangat mendukung kelestarian lingkungan.

DAFTAR PUSTAKA

Ammar, N.R., Farag, A.I., 2016, CFD

Modeling Of Syngas Combustion And Emissions For Marine Gas Turbine Applications, Polish Marit, Res. 23, 39–49.

<https://doi.org/10.1515/Pomr-2016-0030>

Ariana, I.M., DP, A.D., H, D.W., SA, G.B.D., 2018.\, Studi Rantai Pasok LNG: Pemanfaatan Gas Bumi Sebagai Bahan Bakar Wahana Transportasi Laut. IPTEK J. Proc. Ser. 0, 145–152. <https://doi.org/10.12962/J23546026.Y2018i1.3363>

Bayraktar, M., Pamik, M., Sokukcu, M., Yuksel, O., 2023. A SWOT-AHP Analysis On Biodiesel As An Alternative Future Marine Fuel. Clean Technol. Environ. Policy 25, 2233–2248. <https://doi.org/10.1007/S10098-023-02501-7>

Dhande, D.Y., Sinaga, N., Dahe, K.B., 2021. Study On Combustion, Performance And Exhaust Emissions Of Bioethanol-Gasoline Blended Spark Ignition Engine. Heliyon 7, E06380. <https://doi.org/10.1016/J.Heliyon.2021.E06380>

Dhawale, D.S., Biswas, S., Kaur, G., Giddey, S., 2023. Challenges And

- Advancement In Direct Ammonia Solid Oxide Fuel Cells: A Review. *Inorg. Chem. Front.* 10, 6176–6192. <https://doi.org/10.1039/D3qi01557b>
- Elkafas, A.G., Rivarolo, M., Gadducci, E., Magistri, L., Massardo, A.F., 2023. Fuel Cell Systems For Maritime: A Review Of Research Development, Commercial Products, Applications, And Perspectives. *Processes* 11. <https://doi.org/10.3390/Pr11010097>
- Gunawan, S., Hasan, H., Lubis, R.D.W., 2020. Pemanfaatan Adsorben Dari Tongkol Jagung Sebagai Karbon Aktif Untuk Mengurangi Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor. *J. Rekayasa Mater. Manufaktur Dan Energi* 3, 38–47. <https://doi.org/10.30596/Rmme.V3i1.4527>
- Hapsari, M.A., Pramashinta, A., 2013. Pembuatan Bioetanol Dari Singkong Karet (Manihot Glaziovii) Untuk Bahan Bakar Kompor Rumah Tangga Sebagai Upaya Mempercepat Konversi Minyak Tanah Ke Bahan Bakar Nabati. *J. Teknol. Kim. Dan Industri* 2, 240–245.
- Hartanto, S., 2019. Pemanfaatan Bioaditif Serai Wangi-Etanol Pada Kendaraan Roda Dua Berbahan Bakar Pertalite. *J. Tek. Mesin ITI* 3, 35. <https://doi.org/10.31543/Jtm.V3i2.264>
- Hassan, Q., Azzawi, I.D.J., Sameen, A.Z., Salman, H.M., 2023. Hydrogen Fuel Cell Vehicles: Opportunities And Challenges. *Sustain.* 15. <https://doi.org/10.3390/Su151511501>
- Helgason, R., Cook, D., Davíðsdóttir, B., 2020. An Evaluation Of The Cost-Competitiveness Of Maritime Fuels – A Comparison Of Heavy Fuel Oil And Methanol (Renewable And Natural Gas) In Iceland. *Sustain. Prod. Consum.* 23, 236–248. <https://doi.org/10.1016/J.Spc.2020.06.007>
- Hendra Djeni, 2011. Pemanfaatan Eceng Gondok (Eichornia Crassipes) Untuk Bahan Baku Briket Sebagai Bahan Bakar Alternatif. *J. Penelit. Has. Hutan* 29, 189–210.
- Herdzik, J., 2021. Decarbonization Of Marine Fuels—The Future Of Shipping. *Energies* 14. <https://doi.org/10.3390/En14144311>
- Khotimah, K., 2018. Membangun Ketahanan Energi Pendukung Pertahanan Maritim Melalui Pemanfaatan Mikroalga Sebagai

- Biodiesel Bagi Masyarakat Pesisir. *J. Pertahanan Bela Negara* 8, 67–84. <https://doi.org/10.33172/jpbh.v8i1.266>
- Kouzelis, K., Frouws, K., Van Hassel, E., 2022. Maritime Fuels Of The Future: What Is The Impact Of Alternative Fuels On The Optimal Economic Speed Of Large Container Vessels. *J. Shipp. Trade* 7. <https://doi.org/10.1186/s41072-022-00124-7>
- Lee, J., Sim, M., Kim, Y., Lee, C., 2024. Strategic Pathways To Alternative Marine Fuels: Empirical Evidence From Shipping Practices In South Korea. *Sustain.* 16. <https://doi.org/10.3390/su16062412>
- Lee, Seokhwan, Kim, C., Lee, Sunyoup, Oh, S., Kim, J., Lee, J., 2021. Characteristics Of Non-Methane Hydrocarbons And Methane Emissions In Exhaust Gases Under Natural-Gas/Diesel Dual-Fuel Combustion. *Fuel* 290, 120009. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2020.120009>
- Liu, J., Wu, P., Sun, P., Ji, Q., Zhang, Q., Wang, P., 2021. Effects Of Iron-Based Fuel Borne Catalyst Addition On Combustion, In-Cylinder Soot Distribution And Exhaust Emission Characteristics In A Common-Rail Diesel Engine. *Fuel* 290, 120096. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2020.120096>
- Luthfi, M., Ahmad, D., Setiyo, M., Munahar, S., 2018. Uji Komposisi Bahan Bakar Dan Emisi Pembakaran Pertalite Dan Premium. *Jakarta J. Teknol. Univ. Muhammadiyah Jakarta* 10, 67–72.
- Manigandan, S., Ponnusamy, V.K., Devi, P.B., Oke, S.A., Sohret, Y., Venkatesh, S., Vimal, M.R., Gunasekar, P., 2020. Effect Of Nanoparticles And Hydrogen On Combustion Performance And Exhaust Emission Of Corn Blended Biodiesel In Compression Ignition Engine With Advanced Timing. *Int. J. Hydrogen Energy* 45, 3327–3339. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2019.11.172>
- Manoharan, Y., Hosseini, S.E., Butler, B., Alzhahrani, H., 2019. Hydrogen Fuel Cell Vehicles; Current Status And Future Prospect.
- Mohammed, M.K., Balla, H.H., Al-Dulaimi, Z.M.H., Kareem, Z.S., Al-Zuhairy, M.S., 2021. Effect Of Ethanol-Gasoline Blends On SI

- Engine Performance And Emissions. Case Stud. Therm. Eng. 25, 100891. <https://doi.org/10.1016/j.csite.2021.100891>
- Parwatha, I.G.J., Kusuma, C., Indiarya, M., 2022. Analisa Ekonomi Pemanfaatan Gas LNG Sebagai Bahan Bakar Penggerak Kapal Ferry. J. Ind. Eng. Manag. Res. Vol. 3, No, 119–126.
- Penurun, A., Gas, E., Pada, B., Bagus, I.G., Kusuma, W., 2002. MOTOR TEMPEL DAN MESIN PEMBAKARAN TAK BERGERAK 6, 95–101.
- Qazi, U.Y., 2022. Future Of Hydrogen As An Alternative Fuel For Next-Generation Industrial Applications; Challenges And Expected Opportunities. Energies 15, 4741.
- Saravanan, P., Kumar, N.M., Ettappan, M., Dhanagopal, R., Vishnupriyan, J., 2020. Effect Of Exhaust Gas Recirculation On Performance, Emission And Combustion Characteristics Of Ethanol-Fueled Diesel Engine. Case Stud. Therm. Eng. 20, 100643. <https://doi.org/10.1016/j.csite.2020.100643>
- Shang, W., Yu, X., Shi, W., Xing, X., Guo, Z., Du, Y., Liu, H., Wang, S., 2020. Effect Of Exhaust Gas Recirculation And Hydrogen Direct Injection On Combustion And Emission Characteristics Of A N-Butanol SI Engine. Int. J. Hydrogen Energy 45, 17961–17974. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2020.04.219>
- Shi, J., Zhu, Y., Feng, Y., Yang, J., Xia, C., 2023. A Prompt Decarbonization Pathway For Shipping: Green Hydrogen, Ammonia, And Methanol Production And Utilization In Marine Engines. Atmosphere (Basel). 14. <https://doi.org/10.3390/atmos14030584>
- Soleimani, A., Hosseini Dolatabadi, S.H., Heidari, M., Pinnarelli, A., Mehdizadeh Khorrami, B., Luo, Y., Vizza, P., Brusco, G., 2024. Progress In Hydrogen Fuel Cell Vehicles And Up-And-Coming Technologies For Eco-Friendly Transportation: An International Assessment. Multiscale Multidiscip. Model. Exp. Des. <https://doi.org/10.1007/S41939-024-00482-8>
- Sudarwanto, H.W., Utami, I.W., Asmoro, R., Wulandari, A.A., 2020. Bahaya Emisi Gas Buang Kendaraan Berbahan Bakar Bensin Dan Menumbuhkan Lingkungan Hijau Di

- Perkotaan. Semin. Nas. Call Pap. Hubisintek 2020 101–105.
- Sun, C., Liu, Y., Qiao, X., Ju, D., Tang, Q., Fang, X., Zhou, F., 2020. Experimental Study Of Effects Of Exhaust Gas Recirculation On Combustion, Performance, And Emissions Of DME-Biodiesel Fueled Engine. *Energy* 197, 117233. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.117233>
- Utami, T.K., Puriningsih, F.S., 2019. Penghitungan Kadar Emisi Gas Buang Di Pelabuhan Belawan. *War. Penelit. Perhub.* 26, 285. <https://doi.org/10.25104/warlit.v26i5.891>
- Uyumaz, A., Aydoğan, B., Yılmaz, E., Solmaz, H., Aksoy, F., Mutlu, İ., İpci, D., Calam, A., 2020. Experimental Investigation On The Combustion, Performance And Exhaust Emission Characteristics Of Poppy Oil Biodiesel-Diesel Dual Fuel Combustion In A CI Engine. *Fuel* 280. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2020.118588>
- Van Biert, L., Godjevac, M., Visser, K., Aravind, P. V., 2016. A Review Of Fuel Cell Systems For Maritime Applications. *J. Power Sources* 327, 345–364. <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2016.07.007>
- Wang, Q., Zhang, H., Huang, J., Zhang, P., 2023. The Use Of Alternative Fuels For Maritime Decarbonization: Special Marine Environmental Risks And Solutions From An International Law Perspective. *Front. Mar. Sci.* 9, 1–19. <https://doi.org/10.3389/fmars.2022.1082453>
- Widodo, S., 2020. Kajian Perkembangan Teknologi Sensor Gas Untuk Emisi Gas Buang 13, 71–80.
- Wirandoko, H., Wahyuzar, D., Siahaan, B.H.H., 2021. Indikasi Potensi Gas Hidrat Sebagai Sumber Energi Nonkonvensional Di Wilayah Maritim Indonesia. *Indones. J. Earth Sci.* 1, 36–48. <https://doi.org/10.52562/injoes.v1i1.90>
- Xing, H., Stuart, C., Spence, S., Chen, H., 2021. Fuel Cell Power Systems For Maritime Applications: Progress And Perspectives. *Sustain.* 13, 1–34. <https://doi.org/10.3390/su13031213>
- Yesilyurt, M.K., Cakmak, A., 2021. An Extensive Investigation Of Utilization Of A C8 Type Long-Chain Alcohol As

A Sustainable Next-Generation
Biofuel And Diesel Fuel Blends In A
CI Engine – The Effects Of Alcohol
Infusion Ratio On The Performance,
Exhaust Emissions, And Combustion
Characte. Fuel 305, 121453.
[https://doi.org/10.1016/j.fuel.2021.
121453](https://doi.org/10.1016/j.fuel.2021.121453)