



Studi Penggunaan Bahan Bakar Alternatif Pada Mesin Kapal Untuk Mengurangi Polusi

Dwi Septa Prayoga¹, Fauzi Iqbal², Dedy Irfansyah³, Gezen Hardi Charbozer⁴, Desvian Rafli Bayu Saputra⁵, Mariana Kristiyanti⁶

^{1,2,3,4,5,6}Universitas Maritim Amni Semarang

Korespondensi penulis: septaprayoga.518@gmail.com

Abstract. *The maritime transportation sector contributes significantly to greenhouse gas emissions, primarily through the use of fossil fuels such as heavy fuel oil and marine diesel oil. These emissions include carbon dioxide, nitrogen oxides, sulfur oxides, and particulate matter, which negatively impact the environment and human health. The objective of this study was to evaluate the use of alternative fuels in marine engines as a means of reducing pollution. The method used was a literature review of international scientific journals from the past five years. The research findings indicate that alternative fuels such as liquefied natural gas, biofuels, methanol, hydrogen, and ammonia have significant potential to reduce emissions. Liquefied natural gas is effective as a temporary solution, while hydrogen and ammonia offer a path to zero emissions in the long term. However, their implementation still faces various technical, cost, and infrastructure challenges.*

Keywords: *Alternative Fuels, Ships, Emissions, Pollution, Decarbonization*

Abstrak. Sektor transportasi laut berkontribusi signifikan terhadap emisi gas rumah kaca, terutama melalui pemakaian bahan bakar fosil seperti heavy fuel oil dan marine diesel oil. Emisi yang dihasilkan meliputi karbon dioksida, nitrogen oksida, sulfur oksida, serta partikel-partikel yang berdampak buruk bagi lingkungan dan kesehatan manusia. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengevaluasi pemakaian bahan bakar alternatif pada mesin kapal sebagai cara untuk mengurangi pencemaran. Metode yang diterapkan adalah studi literatur dari jurnal ilmiah internasional dalam lima tahun terakhir. Temuan penelitian menunjukkan bahwa bahan bakar alternatif seperti gas alam cair, biofuel, metanol, hidrogen, dan amonia memiliki potensi besar untuk mengurangi emisi. Gas alam cair efektif sebagai solusi sementara, sedangkan hidrogen dan amonia menawarkan jalan menuju nol emisi dalam jangka panjang. Meskipun demikian, pelaksanaannya masih menghadapi berbagai tantangan teknis, biaya, serta infrastruktur.

Kata Kunci: Bahan Bakar Alternatif Kapal, Kapal, Emisi Polusi, Dekarbonisasi

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara terbesar se Asia Tenggara. Indonesia sendiri termasuk negara dengan kepulauan maritim terbesar di dunia berdasarkan wilayah luas wilayah laut Indonesia terdiri dari 2,7 juta km² wilayah Zona Ekonomi Eksklusif Indonesia (ZEEI) dan 3,1 juta km² wilayah laut kedaulatan transportasi laut memainkan peran penting dalam perdagangan global karena efisiensinya dalam pengangkutan barang. Namun, aktivitas ini juga menghasilkan dampak lingkungan yang signifikan. Penggunaan bahan bakar fosil pada mesin kapal menjadi sumber utama emisi gas rumah kaca yang berkontribusi terhadap perubahan iklim.

Selain itu, emisi dari kapal seperti SO_x dan NO_x menyebabkan pencemaran udara yang berdampak pada kesehatan manusia, terutama di wilayah pelabuhan. Untuk mengatasi hal ini, diperlukan inovasi dalam penggunaan bahan bakar yang lebih ramah lingkungan.

Organisasi Maritim Internasional (IMO) telah menetapkan target pengurangan emisi hingga 50% pada tahun 2050. Salah satu strategi yang dapat dilakukan adalah penggunaan bahan bakar alternatif yang memiliki emisi lebih rendah dibandingkan bahan bakar konvensional. Kebutuhan energi ini bervariasi tergantung mode operasi saat berlayar, propulsi mendominasi; sedangkan saat kapal sandar di pelabuhan, konsumsi listrik dan panas untuk akomodasi serta sistem pendukung menjadi signifikan. Selain itu, konsumsi bahan bakar juga sangat dipengaruhi oleh faktor kecepatan kapal, beban muatan, kondisi laut, dan efisiensi operasional.

Besarnya kebutuhan energi tersebut tercermin dalam konsumsi bahan bakar global. Berdasarkan kajian integrated framework BEEPA, rata-rata konsumsi energi bahan bakar berat (heavy fuel oil-equivalent) pada armada kontainer global mencapai sekitar 77,7 juta ton per tahun pada periode 2015–2020. Angka ini hanya mencakup segmen kontainer; apabila dijumlahkan dengan jenis kapal lain seperti tanker, kargo curah kering, Ro-Ro, dan kapal penumpang, total konsumsi diperkirakan jauh lebih besar (Lu et al., 2023). Selama beberapa dekade, bahan bakar minyak berat (Heavy Fuel Oil/HFO) dan Marine Diesel Oil (MDO) telah menjadi sumber energi utama kapal. Namun, penggunaan bahan bakar konvensional ini menimbulkan berbagai permasalahan serius, terutama terkait tingginya emisi gas rumah kaca (GHG), sulfur oksida (SO_x), nitrogen oksida (NO_x), serta partikulat yang berdampak buruk pada lingkungan dan kesehatan manusia.

TINJUAN PUSTAKA

Perkembangan Teknologi Mesin Kapal

Mesin kapal masa kini umumnya terdiri dari mesin diesel yang dirancang untuk memproduksi daya yang besar dengan tingkat efisiensi yang tinggi. Dengan kemajuan teknologi, mesin kapal saat ini mulai dibuat agar dapat memanfaatkan berbagai tipe bahan bakar, termasuk bahan bakar alternatif.

penerapan teknologi terbaru seperti mesin dual-fuel memungkinkan kapal beroperasi dengan dua jenis bahan bakar secara bersamaan, sehingga memberikan pilihan yang lebih fleksibel dalam pemilihan sumber energi yang digunakan teknologi transportasi sebagai hasil

pengembangan ilmu pengetahuan dalam meningkatkan efektivitas penggunaan transportasi meliputi beberapa sektor, diantaranya transportasi darat, transportasi laut dan transportasi udara. Salah satu sektor yang menarik yaitu pada sektor transportasi laut, dimana teknologi transportasi laut di Indonesia berkembang pesat sejak masa kolonial, di mana bangsa-bangsa Barat seperti Portugis, Belanda, dan Inggris yang mengeksplorasi dan mengkolonisasi wilayah.

Dampak Lingkungan dari Bahan Bakar Konvensional

Dampak lingkungan dari penggunaan HFO dan MDO telah banyak dikaji. Pembakaran kedua bahan bakar ini menghasilkan CO₂ dalam jumlah besar yang berkontribusi signifikan terhadap perubahan iklim. Dampak lingkungan dari penggunaan HFO dan MDO telah banyak dikaji. Pembakaran kedua bahan bakar ini menghasilkan CO₂ dalam jumlah besar yang berkontribusi signifikan terhadap perubahan iklim, dengan demikian, isu lingkungan akibat penggunaan bahan bakar konvensional semakin mendorong perlunya bahan bakar alternatif yang lebih ramah lingkungan. Sebagai respon atas tantangan tersebut, berbagai regulasi internasional diterapkan. Organisasi Maritim Internasional (IMO) melalui MARPOL Annex VI telah menetapkan aturan ketat mengenai pengurangan emisi. Salah satu alternatif bahan bakar yang banyak dipertimbangkan adalah Liquefied Natural Gas (LNG). Bahan bakar konvensional memiliki kandungan karbon dan sulfur yang tinggi. Proses pembakarannya menghasilkan berbagai jenis emisi yang berdampak buruk, antara lain:

CO₂ (karbon dioksida): penyebab utama pemanasan global.

NO_x (nitrogen oksida): menyebabkan pencemaran udara dan hujan asam.

SO_x (sulfur oksida): berkontribusi terhadap hujan asam.

Partikulat: berbahaya bagi kesehatan pernapasan.

Penggunaan bahan bakar ini dalam jangka panjang tidak sejalan dengan prinsip pembangunan berkelanjutan.

Konsep Bahan Bakar Alternatif

Bahan bakar alternatif adalah sumber energi selain bahan bakar fosil yang memiliki dampak lingkungan lebih rendah. Dalam konteks pelayaran, bahan bakar alternatif harus memenuhi beberapa kriteria, yaitu:

Memiliki efisiensi energi yang baik.

Ramah lingkungan.

Aman digunakan.

Tersedia secara berkelanjutan.

Jenis-Jenis Bahan Bakar Alternatif

a. Liquefied Natural Gas (LNG)

LNG merupakan bahan bakar alternatif yang banyak digunakan pada sektor pelayaran karena mampu menurunkan emisi SO_x, NO_x, dan CO₂ dibanding bahan bakar konvensional. Penggunaan LNG didukung teknologi mesin dual-fuel yang memungkinkan kapal menggunakan gas maupun bahan bakar minyak. Namun, penggunaan LNG masih terkendala infrastruktur dan risiko methane slip.

b. Biofuel

Biofuel berasal dari biomassa seperti minyak nabati dan limbah organik. Bahan bakar ini lebih ramah lingkungan karena emisi karbonnya lebih rendah dan dapat digunakan pada mesin diesel kapal dengan sedikit modifikasi. Kendala utama biofuel meliputi biaya produksi dan ketersediaan bahan baku.

c. Metanol

Metanol memiliki emisi sulfur rendah dan proses pembakaran yang lebih bersih. Penyimpanannya lebih mudah dibanding hidrogen serta dapat digunakan pada mesin kapal dengan modifikasi tertentu. Kekurangannya, metanol memiliki nilai kalor lebih rendah sehingga memerlukan kapasitas tangki lebih besar.

d. Hidrogen

Hidrogen merupakan bahan bakar nol emisi karena hanya menghasilkan uap air saat digunakan. Hidrogen dapat dimanfaatkan melalui fuel cell maupun pembakaran langsung. Namun, biaya produksi dan teknologi penyimpanannya masih menjadi tantangan utama.

e. Amonia

Amonia tidak menghasilkan emisi CO₂ saat digunakan sehingga berpotensi mendukung dekarbonisasi sektor maritim. Meski demikian, sifat amonia yang toksik memerlukan sistem keamanan khusus dan teknologinya masih dalam tahap pengembangan.

METODE PENELITIAN

Pendekatan dan Jenis Penelitian

Penelitian ini menerapkan pendekatan kualitatif melalui metode studi literatur. Informasi yang digunakan adalah data sekunder yang diperoleh dari jurnal akademis internasional, artikel yang dapat diakses secara bebas, dan laporan penelitian yang relevan dalam rentang waktu lima tahun terakhir. Sumber-sumber tersebut dipilih berdasarkan relevansinya dengan tema pemanfaatan bahan bakar alternatif pada mesin kapal serta kemudahan dalam mengaksesnya.

Pengumpulan informasi dilakukan dengan menjelajahi database seperti Google Scholar, MDPI, ScienceDirect, dan Frontiers menggunakan kata kunci yang berhubungan dengan bahan bakar alternatif dan emisi kapal. Literatur yang berhasil dikumpulkan kemudian diseleksi dan dikelompokkan menurut jenis bahan bakar, seperti LNG, biofuel, metanol, hidrogen, dan amonia.

Analisis informasi dilakukan dengan cara deskriptif dengan membandingkan masing-masing jenis bahan bakar berdasarkan tingkat emisi, efisiensi energi, dan kesiapan teknologi. Hasil dari analisis ini digunakan untuk menarik kesimpulan mengenai efektivitas bahan bakar alternatif dalam menurunkan polusi yang dihasilkan oleh mesin kapal.

Hasil dan Pembahasan

Analisis Penggunaan LNG

Liquefied Natural Gas (LNG) adalah gas alam yang dicairkan dengan didinginkan hingga mencapai suhu $-162\text{ }^{\circ}\text{C}$ 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 :

- a. 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.
- b. 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 didihnya. Tekanan uap akan naik sangat cepat ketika temperature LNG naik (sekitar 5 bar pada -140°C dan 12 bar pada suhu -120°C).

- c. LNG Density dari LNG adalah sekitar setengah dari density air, kurang lebih antara 0,42 dan 0,48 g/cm³
- d. 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 pendeteksian terhadap kebocoran
- e. Flammable Limits Jika terdapat 5% sampai dengan 14% dari LNG di dalam udara, akan menciptakan
- f. campuran yang mudah meledak. Dalam rangka menjaga terciptanya situasi di atas maka tekanan di dalam tangki harus dijaga sedikit di atas tekanan atmosfer.
 - 1) Mempunyai daya hantar listrik yang rendah.
 - 2) Mudah menguap
 - 3) Low viscosity (kekentalannya rendah).
 - 4) Hampir tidak mempunyai daya larut di dalam air
 - 5) 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]:

- 1) Kandungan metana yang tinggi sehingga rasio daya tinggi
- 2) 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.
- 3) 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.

Perbandingan Emisi

Bahan bakar	CO ₂	Sox	NO _x	Efektivitas
HFO	Tinggi	Tinggi	Tinggi	Rendah
LNG	Rendah	Sangat rendah	Rendah	Sedang
Bioufuel	Sangat Rendah	Rendah	Rendah	Tinggi
Hidrogen	Nol	Nol	Sangat Rendah	Sangat Tinggi
Amonia	Nol	Nol	Rendah	Tinggi

KESIMPULAN

Penggunaan bahan bakar alternatif pada mesin kapal merupakan langkah penting dalam mengurangi polusi dan mendukung keberlanjutan lingkungan. LNG menjadi solusi jangka pendek yang realistis, sedangkan biofuel memberikan kemudahan dalam implementasi. Hidrogen dan amonia memiliki potensi besar sebagai bahan bakar masa depan yang mampu mencapai nol emisi. Diperlukan kerja sama antara pemerintah, industri, dan peneliti untuk mempercepat transisi menuju energi yang lebih bersih di sektor maritim.

DAFTAR PUSTAKA

- Filemon, B. N. (2025). studi kualitatif performa mesin kapal berbahan bakar LNG dan Konvesional di sektor maritim indonesia. *LOCUS Penelitian dan Pengabdian*, 10472-10475.
- I Gede Jaya Parwatha, C. K. (2022). analisis ekonomi pemanfaatan gas LNG sebagai bahan bakar penggerak kapal ferry. *journalof industrial engineering dan managemen research*, 119-121.
- Muhamad Rizki Nurpalah, H. A. (2024). analisis kompetensi yang dibutuhkan nelayan dalam menghadapi perkembangan teknologi kapal propulsi listrik. *journal of mechanical engineering*, 32-42.
- Solafide Hutajulu, R. A. (2023). peran scrubber pada bahan bakar rendah sulfur dalam mengatasi udara maritim. *majalah ilmiah gema maritim*, 117-122.