

# Analisis SWOT Penggunaan Biodiesel pada Mesin Kapal Perang Republik Indonesia

Jajang Amir Hidayat<sup>1</sup>, Mohammad Ali Nugroho<sup>2</sup>, Dewadharu Achsyan<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Sekolah Staf dan Komando Angkatan Laut, Indonesia

<sup>1</sup>Universitas Pertahanan, Sentul bogor, Indonesia

E-mail: [jajangamirhidayat@gmail.com](mailto:jajangamirhidayat@gmail.com)

| Article Info   | Abstract  |
|--|---|
| <b>Article History</b><br>Received: 2025-10-07<br>Revised: 2025-11-13<br>Published: 2025-12-01   | The global transition towards green energy in the maritime defense sector has become a strategic agenda. The implementation of biodiesel in Indonesian Navy warships (KRI) represents a critical step toward achieving national energy independence and the Green Navy concept. This study aims to analyze internal and external factors affecting the use of biodiesel in naval engines through the <i>Strengths, Weaknesses, Opportunities, and Threats (SWOT)</i> approach. The research employed a quantitative descriptive method, distributing Likert-scale questionnaires (1-5) to 16 respondents, including KRI engineers and technical officers. Data were processed using Microsoft Excel, with total scores calculated as the product of each factor's weight and mean rating. The results show that the main strength lies in engine efficiency and domestic biodiesel production capacity ( $S_3 = 0.800$ ), while the dominant weaknesses are filter clogging and oxidation stability issues ( $W_2 & W_3 = 0.606$ ). Externally, the key opportunity is the strong support from national energy policy ( $O_2 = 0.562$ ), and the main threats are the increased maintenance burden and long-range operational risks ( $T_2 = 0.738$ ; $T_3 = 0.688$ ). The overall analysis places the strategic position in the <b>ST quadrant</b> , indicating that the Indonesian Navy must leverage its internal strengths to counter external threats. This finding contributes to defense energy policy development and national education, serving as a research-based learning model to enhance strategic energy literacy among naval officers and engineering students.  |
| <b>Keywords:</b><br><i>Biodiesel;</i><br><i>SWOT Analysis;</i><br><i>Naval Defense;</i><br><i>Green Navy;</i><br><i>Energy Sustainability.</i> |   |
| <b>Artikel Info</b>  | <b>Abstrak</b>  |
| <b>Sejarah Artikel</b><br>Diterima: 2025-10-07<br>Direvisi: 2025-11-13<br>Dipublikasi: 2025-12-01  | Transisi menuju energi hijau dalam sektor pertahanan maritim menjadi salah satu agenda strategis global. Penerapan biodiesel pada Kapal Perang Republik Indonesia (KRI) merupakan langkah penting dalam mendukung kebijakan nasional kemandirian energi dan konsep <i>Green Navy</i> . Penelitian ini bertujuan menganalisis faktor internal dan eksternal yang memengaruhi penggunaan biodiesel pada sistem permesinan KRI melalui pendekatan <i>Strengths, Weaknesses, Opportunities, and Threats (SWOT)</i> . Metode yang digunakan adalah penelitian kuantitatif deskriptif dengan penyebaran kuesioner skala Likert (1-5) kepada 16 responden yang terdiri atas teknisi dan perwira mesin KRI. Data diolah menggunakan Microsoft Excel dengan perhitungan skor total hasil perkalian antara bobot dan rata-rata skor setiap subfaktor. Hasil penelitian menunjukkan bahwa faktor kekuatan utama adalah efisiensi teknis mesin dan kemampuan produksi biodiesel dalam negeri ( $S_3 = 0,800$ ), sedangkan kelemahan dominan mencakup penyumbatan filter dan kestabilan oksidasi bahan bakar ( $W_2 & W_3 = 0,606$ ). Dari sisi eksternal, peluang tertinggi terletak pada dukungan kebijakan energi nasional ( $O_2 = 0,562$ ), sedangkan ancaman terbesar berasal dari peningkatan beban perawatan dan risiko operasional jarak jauh ( $T_2 = 0,738$ ; $T_3 = 0,688$ ). Hasil sintesis menempatkan posisi strategis pada kuadran ST, artinya TNI Angkatan Laut perlu memanfaatkan kekuatan internal untuk mengatasi ancaman eksternal. Temuan ini memiliki implikasi langsung terhadap kebijakan energi pertahanan dan pendidikan nasional, di mana hasil SWOT dapat dijadikan model pembelajaran berbasis riset untuk membangun literasi energi strategis bagi perwira dan mahasiswa teknik pertahanan. |

## I. PENDAHULUAN

Jurnal Perubahan paradigma energi global telah mendorong negara-negara dunia, termasuk Indonesia, untuk mengurangi ketergantungan terhadap bahan bakar fosil dan beralih ke energi terbarukan. Sektor pertahanan laut menjadi salah satu bidang dengan kebutuhan energi

terbesar dan paling sensitif terhadap gangguan pasokan. Laporan *International Maritime Organization (IMO)* (2023) dalam *GHG Strategy 2023* menargetkan sektor maritim bebas emisi karbon pada tahun 2050, sejalan dengan *FuelEU Maritime Regulation 2025* yang diterbitkan oleh Uni Eropa.

Dalam konteks nasional, Indonesia melalui Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM, 2023) telah mengimplementasikan program mandatori *Biodiesel*. Kebijakan ini merupakan upaya strategis untuk mendukung kemandirian energi nasional sekaligus mengurangi emisi karbon hingga 25% pada sektor transportasi dan pertahanan. Di lingkungan TNI Angkatan Laut, penggunaan biodiesel pada kapal perang menjadi tantangan dan peluang baru. Selain meningkatkan nilai kemandirian energi, hal ini berpotensi memperkuat posisi strategis Indonesia dalam *Green Defense Initiative*.

Namun, berbagai kajian teknis menunjukkan adanya kendala dalam penerapan biodiesel, antara lain risiko penyumbatan filter, peningkatan frekuensi perawatan, serta degradasi material akibat sifat kimia biodiesel yang higroskopis (Knothe, 2005; Lapuerta et al., 2008). Sementara itu, penelitian terbaru (Mittal & Lim, 2024; IEA Bioenergy Task 39, 2023) menunjukkan bahwa penerapan biodiesel di sektor maritim dapat dilakukan dengan sukses apabila didukung oleh sistem pemeliharaan adaptif dan pengawasan mutu bahan bakar yang baik.

Kajian terdahulu masih didominasi oleh konteks sipil dan industri komersial, sehingga kajian di bidang pertahanan laut relatif terbatas. Padahal, aspek energi merupakan bagian integral dari kesiapan tempur dan keberlanjutan operasi armada. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis faktor-faktor *Strengths, Weaknesses, Opportunities, dan Threats (SWOT)* yang memengaruhi implementasi biodiesel pada mesin KRI, serta merumuskan strategi yang relevan untuk mendukung kebijakan *Green Navy*.

Selain berfokus pada dimensi teknis dan strategis, penelitian ini juga mengandung dimensi edukatif, yakni memperkuat literasi energi pertahanan di lingkungan pendidikan militer (Seskoal) dan perguruan tinggi umum melalui pendekatan *research-based learning*.

## II. METODE PENELITIAN

Pada Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif deskriptif dengan metode analisis SWOT (*Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threats*). Pendekatan ini dipilih karena mampu mengidentifikasi serta mengevaluasi kondisi internal dan eksternal secara sistematis untuk memperoleh gambaran strategis tentang kompatibilitas penggunaan biodiesel pada sistem permesinan Kapal Perang Republik Indonesia (KRI). Menurut Helms dan Nixon (2010), metode

SWOT efektif dalam merumuskan arah kebijakan organisasi dengan mengintegrasikan dimensi teknis dan manajerial ke dalam satu kerangka analisis strategis.

Pengumpulan data dilakukan melalui kuesioner berbasis skala Likert (1-5), di mana responden memberikan tingkat penilaian terhadap setiap pernyataan berdasarkan persepsi mereka terhadap kondisi aktual di lapangan. Skala ini digunakan karena dinilai paling sesuai untuk mengukur persepsi dan sikap responden secara kuantitatif (Joshi et al., 2015), serta memudahkan proses konversi data ke dalam bentuk numerik untuk analisis statistik sederhana.

Sebanyak 16 responden terlibat dalam penelitian ini, merupakan perwira yang bertugas di beberapa kapal perang aktif TNI Angkatan Laut. Pemilihan responden dilakukan secara purposif berdasarkan kriteria keahlian dan pengalaman dalam mengoperasikan serta memelihara sistem permesinan kapal. Dengan demikian, data yang diperoleh mencerminkan kondisi aktual dan objektif dari operasional KRI di lapangan.

Setiap responden menilai 12 subfaktor yang terbagi dalam empat dimensi utama analisis SWOT, yaitu:

1. *Strengths (S)* mencakup tiga faktor internal yang mendukung keberhasilan implementasi biodiesel, seperti kemampuan produksi dalam negeri, efisiensi mesin, dan dukungan kebijakan pemerintah.
2. *Weaknesses (W)* terdiri atas tiga faktor yang menjadi kendala teknis dan logistik, termasuk penyumbatan filter, pembentukan deposit, dan ketidakcocokan material mesin.
3. *Opportunities (O)* meliputi tiga faktor eksternal yang memberikan peluang pengembangan, seperti dukungan kebijakan energi nasional, potensi *Green Navy Initiative*, dan kerja sama riset pertahanan.
4. *Threats (T)* berisi tiga faktor eksternal yang berpotensi menghambat keberlanjutan program, misalnya beban perawatan tambahan, gangguan operasional jarak jauh, dan risiko pasokan bahan bakar.

Data yang terkumpul kemudian dianalisis menggunakan Microsoft Excel melalui beberapa tahapan sistematis:

1. Perhitungan bobot lokal untuk setiap subfaktor berdasarkan proporsi penilaian responden terhadap keseluruhan kategori SWOT.

2. Perhitungan skor total, yaitu hasil perkalian antara bobot lokal dengan rata-rata skor penilaian dari setiap subfaktor.
3. Pengurutan prioritas faktor, di mana hasil skor total digunakan untuk menentukan faktor dominan dan posisi strategis organisasi pada matriks SWOT.

Langkah-langkah tersebut memungkinkan penyusunan *strategic mapping* yang menggambarkan posisi organisasi (dalam hal ini TNI AL) apakah berada dalam kuadran SO, WO, ST, atau WT. Dengan demikian, hasil akhir tidak hanya bersifat deskriptif, tetapi juga aplikatif dalam penyusunan rekomendasi kebijakan.

Validitas dan reliabilitas data dijaga melalui proses triangulasi sumber dan metode. Validasi dilakukan dengan melibatkan *expert judgment* dari dosen Sekolah Staf dan Komando TNI Angkatan Laut (Seskoal). Selain itu, hasil analisis juga dikonfirmasi melalui perbandingan dengan literatur teknis dan kebijakan energi terbaru (Mittal & Lim, 2024; IEA Bioenergy, 2023; *Scientific Reports*, 2022), untuk memastikan kesesuaian antara temuan empiris dan kondisi global terkini.

Pendekatan kuantitatif deskriptif dengan integrasi SWOT ini diharapkan dapat menghasilkan pemetaan strategis yang komprehensif terhadap kesiapan penggunaan biodiesel di lingkungan TNI Angkatan Laut. Lebih jauh, hasil penelitian ini dapat dijadikan dasar bagi pengambilan keputusan dalam bidang logistik pertahanan, serta sumber pembelajaran strategis di lembaga pendidikan militer dan universitas teknik yang menaruh perhatian pada isu transisi energi dan ketahanan nasional.

### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### A. Strengths (Kekuatan)

Faktor S3 (0,800) muncul sebagai kekuatan utama dalam implementasi biodiesel pada mesin Kapal Perang Republik Indonesia (KRI), diikuti oleh S2 (0,662) dan S1 (0,363). Temuan ini memperlihatkan bahwa efisiensi teknis mesin dan kemampuan produksi biodiesel dalam negeri merupakan fondasi utama bagi tercapainya kemandirian energi pertahanan nasional. Dalam konteks strategi maritim Indonesia, kekuatan ini menegaskan posisi TNI Angkatan Laut (TNI AL) sebagai pengguna sekaligus pelopor dalam adaptasi bahan bakar terbarukan di sektor militer.

Dominasi faktor S3 menunjukkan bahwa sistem permesinan KRI relatif mampu

beradaptasi dengan karakteristik biodiesel tanpa menimbulkan penurunan performa signifikan. Hal ini konsisten dengan hasil penelitian Mittal & Lim (2024) yang menyatakan bahwa kompatibilitas biodiesel meningkat secara signifikan ketika sistem permesinan dimodifikasi sesuai struktur molekul bahan bakar nabati. Penelitian serupa oleh Atadashi et al. (2010) dan Xue et al. (2011) juga mengonfirmasi bahwa biodiesel, dapat memberikan performa stabil dan emisi lebih rendah bila diterapkan pada mesin diesel yang dikelola dengan prosedur pemeliharaan yang tepat.

Lebih jauh, kekuatan ini memperkuat posisi Indonesia sebagai produsen biodiesel terbesar di Asia Tenggara, dengan kapasitas produksi mencapai lebih dari 16 juta kiloliter per tahun menurut data Kementerian ESDM (2023). Produksi domestik yang tinggi menjadi keunggulan strategis dalam konteks pertahanan energi (*defense energy sovereignty*), karena menjamin ketersediaan bahan bakar alternatif di tengah potensi gangguan rantai pasok global. Dengan demikian, penguasaan rantai produksi biodiesel dari hulu ke hilir bukan hanya isu ekonomi, melainkan juga bagian dari strategi ketahanan nasional.

Selain itu, efisiensi teknis dan kemandirian produksi biodiesel juga berdampak pada stabilitas logistik militer. Kapal perang yang menggunakan biodiesel dari pasokan dalam negeri akan memiliki tingkat kemandirian operasi yang lebih tinggi karena tidak tergantung pada pasokan impor yang rentan terhadap fluktuasi harga minyak dunia maupun dinamika geopolitik. Kondisi ini sejalan dengan prinsip *defense resilience* yang menekankan kemandirian logistik dalam sistem pertahanan nasional (NDS 2022).

Secara kelembagaan, kekuatan ini juga selaras dengan kebijakan pemerintah dalam mendorong implementasi Program *Green Navy* dan *Defense Green Transition* 2030, yang berfokus pada pengurangan emisi karbon di sektor militer melalui efisiensi energi dan pemanfaatan bahan bakar nabati (European Commission, 2023; IMO, 2023). Penggunaan biodiesel pada KRI tidak hanya meningkatkan performa lingkungan (environmental performance), tetapi juga memperkuat citra Indonesia sebagai negara yang berkomitmen terhadap agenda energi bersih di kawasan Indo-Pasifik.

## B. Weaknesses (Kelemahan)

Faktor kelemahan menunjukkan sejumlah tantangan teknis dan operasional yang masih dihadapi dalam implementasi biodiesel pada mesin Kapal Perang Republik Indonesia (KRI). Berdasarkan hasil analisis, W2 dan W3 memiliki skor tertinggi masing-masing 0,606, diikuti oleh W1 dengan nilai 0,564. Secara umum, kelemahan ini mencakup tiga aspek utama: penyumbatan filter bahan bakar (*filter clogging*), pembentukan deposit pada injektor, serta ketidakcocokan material seal karet terhadap sifat kimia biodiesel.

Kelemahan utama, yaitu W1 risiko penyumbatan filter, merupakan dampak dari karakteristik biodiesel yang memiliki tingkat viskositas dan kandungan oksigen lebih tinggi dibandingkan bahan bakar minyak bumi. Menurut penelitian Lapuerta et al. (2008) dan Xue et al. (2011), biodiesel memiliki kecenderungan menyerap air (higroskopis), yang dapat menyebabkan pembentukan endapan dan partikel mikro di dalam sistem bahan bakar. Kondisi ini menyebabkan sirkulasi bahan bakar menjadi tidak optimal dan meningkatkan potensi *fuel starvation* pada mesin diesel laut. Dalam konteks operasional KRI, hal ini dapat menurunkan *engine reliability*, terutama selama operasi jarak jauh atau misi patroli yang membutuhkan kinerja mesin yang stabil dalam jangka waktu lama.

Kelemahan kedua, W2 pembentukan deposit pada sistem injeksi, berkaitan dengan reaksi oksidasi dan polimerisasi senyawa asam lemak metil ester (FAME) yang terkandung dalam biodiesel. Proses ini menghasilkan residu karbon yang dapat menempel pada permukaan injektor dan ruang bakar, sehingga mengganggu proses atomisasi bahan bakar. Studi Atadashi et al. (2010) menyatakan bahwa efek deposit ini dapat memperpendek interval perawatan dan menurunkan efisiensi pembakaran hingga 5-10%. Bagi kapal perang, konsekuensi ini bukan sekadar masalah teknis, tetapi juga menyangkut efisiensi logistik dan efektivitas operasional, mengingat waktu perawatan yang meningkat dapat mengganggu kesiapan tempur kapal.

Kelemahan ketiga, W3 ketidakcocokan material seal karet, merupakan masalah yang sering muncul pada mesin yang tidak didesain khusus untuk biodiesel. Kandungan senyawa polar dan sifat pelarut biodiesel dapat

menyebabkan degradasi pada material karet nitril (NBR) atau neoprene yang lazim digunakan sebagai seal dan hose pada sistem bahan bakar. Degradasi ini menimbulkan risiko kebocoran, penurunan tekanan bahan bakar, serta peningkatan potensi bahaya kebakaran di ruang mesin. Hasil temuan ini konsisten dengan riset Knothe (2005) yang menjelaskan bahwa biodiesel memerlukan modifikasi material komponen menjadi fluorocarbon atau viton agar sistem bahan bakar tetap aman dan kompatibel dalam jangka panjang.

Dari perspektif kebijakan, kelemahan-kelemahan tersebut mengindikasikan perlunya penerapan standar teknis nasional untuk biodiesel pertahanan, termasuk sertifikasi kualitas bahan bakar dan sistem pemeliharaan adaptif. Hal ini sesuai dengan kebijakan Biodiesel Program Implementation in Indonesia (ESDM, 2023) yang menekankan pentingnya *fuel handling system* terintegrasi untuk menjamin stabilitas mutu bahan bakar di lapangan. Dengan demikian, kelemahan teknis tidak boleh dianggap sebagai hambatan, melainkan sebagai sinyal bagi pembenahan sistem dan peningkatan kualitas teknologi pendukung.

Dalam konteks pendidikan, hasil analisis ini juga memberikan nilai tambah yang signifikan. Kelemahan-kelemahan tersebut dapat dijadikan studi kasus pembelajaran berbasis pemecahan masalah (*problem-based learning*) di lingkungan perguruan tinggi teknik. Melalui studi ini, perwira dan mahasiswa teknik dapat dilatih untuk merancang solusi teknis, seperti sistem filtrasi berlapis, sensor monitoring digital, serta prosedur pembersihan bahan bakar yang sesuai standar militer.

Lebih jauh, temuan ini memperkuat urgensi pengembangan kurikulum pendidikan energi pertahanan yang mengintegrasikan ilmu teknik, kebijakan energi, dan manajemen logistik. Dengan membekali peserta didik dengan kemampuan analisis sistem energi berbasis data, mereka dapat memahami hubungan langsung antara keandalan mesin, kesiapan tempur, dan keberlanjutan operasi laut.

Dari sisi kebijakan pertahanan, kelemahan yang teridentifikasi juga menunjukkan perlunya pendekatan *dual-track maintenance policy* yaitu kombinasi antara preventive maintenance (pencegahan kerusakan akibat

biodiesel) dan *predictive maintenance* (pemeliharaan berbasis data dan sensor *real-time*). Kebijakan ini dapat menjadi solusi strategis untuk meminimalkan dampak negatif biodiesel terhadap sistem permesinan, sekaligus memastikan efektivitas biaya perawatan.

Dengan demikian, meskipun kelemahan yang diidentifikasi bersifat teknis dan operasional, hasil analisis ini menegaskan bahwa semua kelemahan tersebut dapat diatasi melalui inovasi teknologi, peningkatan kapasitas SDM, dan sinergi riset antara lembaga pertahanan, industri energi, dan universitas teknik. Hal ini sejalan dengan visi nasional untuk mewujudkan kemandirian energi dan keberlanjutan operasional pertahanan laut yang adaptif terhadap perubahan lingkungan strategis global.

### C. Opportunities (Peluang)

Berdasarkan hasil analisis SWOT, dimensi peluang (*Opportunities*) menunjukkan tiga faktor utama yang berpotensi memperkuat implementasi biodiesel di lingkungan TNI Angkatan Laut. Faktor O2 (0,562) menjadi peluang tertinggi, diikuti oleh O1 (0,438) dan O3 (0,281). Temuan ini memperlihatkan bahwa faktor eksternal terutama kebijakan energi nasional dan dukungan terhadap transformasi hijau pertahanan memberikan dorongan signifikan terhadap keberlanjutan program penggunaan biodiesel di KRI.

Faktor O2 (dukungan kebijakan energi nasional) memiliki nilai tertinggi karena mencerminkan arah politik energi Indonesia yang konsisten mendukung transisi menuju bahan bakar rendah emisi. Pemerintah melalui Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM, 2023) dan Peraturan Presiden No. 40 Tahun 2023 tentang percepatan energi terbarukan, secara eksplisit menetapkan biodiesel sebagai prioritas dalam bauran energi nasional (*energy mix policy*). Dukungan regulasi ini memperkuat legitimasi penggunaan biodiesel di sektor pertahanan, termasuk dalam operasi laut TNI AL.

Sejalan dengan itu, *European Commission* (2023) melalui *FuelEU Maritime Regulation 2025* dan *International Maritime Organization* (IMO, 2023) lewat *GHG Strategy 2023* menegaskan bahwa sektor maritim global harus mengurangi emisi gas rumah kaca hingga 50% pada tahun 2050. Posisi Indonesia sebagai anggota aktif IMO

memberikan peluang besar bagi TNI AL untuk menjadi bagian dari transformasi global tersebut melalui konsep Green Navy. Konsep ini menempatkan kapal perang bukan hanya sebagai alat pertahanan, tetapi juga simbol diplomasi lingkungan internasional yang menunjukkan komitmen Indonesia terhadap pembangunan berkelanjutan.

Faktor O1 (kelayakan penggunaan jangka panjang) juga menjadi peluang penting karena menunjukkan bahwa penggunaan biodiesel secara teknis dapat diterapkan secara berkelanjutan dengan risiko minimal jika didukung sistem pemeliharaan adaptif. Menurut studi IEA Bioenergy Task 39 (2023), biodiesel generasi kedua seperti memiliki stabilitas oksidasi yang baik dan cocok untuk operasi laut tropis dengan suhu tinggi. Artinya, penggunaan biodiesel pada KRI tidak hanya layak secara teknis, tetapi juga ekonomis, karena mengurangi ketergantungan terhadap impor minyak fosil yang harganya fluktuatif.

Faktor O3 (*Green Navy Initiative*) meskipun memiliki bobot lebih kecil (0,281), tetap menjadi peluang strategis karena berkaitan dengan reposisi diplomasi energi Indonesia di kawasan Indo-Pasifik. Melalui inisiatif ini, TNI AL dapat memperkuat kerja sama internasional dalam bidang *maritime environmental cooperation*, seperti program *ASEAN Green Fleet Partnership* dan kolaborasi riset bahan bakar rendah karbon bersama Korea Selatan dan Jepang (Papamichael et al., 2025).

### D. Threats (Ancaman)

Hasil analisis menunjukkan bahwa faktor ancaman (*Threats*) memiliki peran signifikan dalam menentukan keberlanjutan implementasi biodiesel di lingkungan TNI Angkatan Laut. Dari tiga subfaktor ancaman yang dianalisis, T2 (beban perawatan tambahan) menempati posisi tertinggi dengan skor 0,738, diikuti T3 (dampak terhadap operasi jarak jauh) dengan skor 0,688, dan T1 (gangguan teknis operasi) dengan skor 0,363. Hasil ini menggambarkan bahwa aspek teknis dan logistik menjadi tantangan utama dalam menjaga kesiapan operasi kapal perang yang menggunakan bahan bakar berbasis biodiesel.

Faktor T2 beban perawatan tambahan merupakan ancaman paling dominan. Penggunaan biodiesel diketahui meningkatkan frekuensi perawatan sistem bahan bakar,

terutama pada komponen filter, injektor, dan ruang bakar. Menurut studi Lapuerta et al. (2008) dan Atadashi et al. (2010), residu hasil oksidasi biodiesel dapat mempercepat pembentukan deposit karbon dan mengurangi efisiensi sistem pembakaran. Dalam konteks operasi KRI, peningkatan beban perawatan akan berdampak langsung pada biaya logistik pertahanan serta efisiensi waktu operasional. Setiap tambahan siklus perawatan berarti pengurangan jam operasi kapal, yang pada skala strategis dapat menurunkan tingkat kesiapan tempur (*operational readiness*) TNI AL.

Ancaman berikutnya adalah T3 – dampak terhadap operasi jarak jauh, yang menggambarkan risiko penurunan keandalan mesin saat kapal beroperasi di luar wilayah ALKI atau dalam misi lintas samudra. Biodiesel memiliki kestabilan oksidasi yang lebih rendah dibandingkan *High Speed Diesel (HSD)*, sehingga rentan terhadap degradasi selama penyimpanan jangka panjang di kondisi tropis dengan kelembapan tinggi. Penelitian Mittal & Lim (2024) menekankan bahwa biodiesel perlu disimpan dengan sistem sirkulasi tertutup dan *temperature control* untuk mencegah kontaminasi mikroba dan air. Apabila faktor ini tidak diantisipasi, potensi gangguan mesin di tengah operasi laut terbuka akan meningkat, menimbulkan risiko strategis terhadap kelancaran misi pertahanan.

Sementara itu, T1 gangguan teknis operasi, meskipun memiliki skor relatif lebih rendah (0,363), tetap signifikan karena berdampak langsung pada sistem senjata dan komunikasi kapal. Gangguan pada sistem bahan bakar dapat menyebabkan *power fluctuation* pada generator, yang dalam situasi tempur dapat menghambat operasi sistem navigasi dan senjata. Dalam konteks Sistem Senjata Armada Terpadu (SSAT), gangguan teknis sekecil apa pun pada komponen energi dapat berimplikasi besar terhadap efektivitas pertempuran.

Dari perspektif manajemen, ancaman-ancaman tersebut menunjukkan bahwa keberhasilan implementasi biodiesel bukan hanya bergantung pada aspek teknologi bahan bakar, tetapi juga pada sistem dukungan logistik dan pemeliharaan adaptif. Berdasarkan laporan Alkhalidi et al. (2025), kelemahan paling umum dalam transisi energi di sektor pertahanan adalah kurangnya integrasi antara

teknologi bahan bakar baru dan sistem manajemen aset militer. Oleh karena itu, diperlukan sistem pemeliharaan berbasis prediksi (*predictive maintenance system*) yang mampu mendeteksi perubahan performa mesin secara real-time. Integrasi ini dapat diwujudkan melalui sensor digital (*IoT-based engine monitoring*) yang terhubung dengan pusat data logistik TNI AL.

Selain faktor teknis, ancaman juga muncul dari aspek ekonomi dan kebijakan energi global. Fluktuasi harga bahan baku biodiesel (minyak sawit mentah/Crude Palm Oil) di pasar dunia dapat memengaruhi stabilitas pasokan dan biaya produksi nasional. Ketika harga CPO meningkat akibat permintaan global, biaya operasional kapal yang menggunakan biodiesel juga akan naik. Oleh karena itu, diperlukan mekanisme subsidi silang atau kebijakan *strategic fuel reserve* di lingkungan Kementerian Pertahanan dan TNI AL agar operasi kapal tetap efisien dan berkelanjutan.

#### IV. SIMPULAN DAN SARAN

##### A. Simpulan

Simpulan Penelitian ini menegaskan bahwa penerapan biodiesel pada sistem permesinan Kapal Perang Republik Indonesia merupakan langkah strategis yang sejalan dengan agenda nasional *Green Energy Transition* dan visi *Green Navy Indonesia*. Berdasarkan hasil analisis SWOT, diperoleh posisi strategis organisasi pada kuadran ST (*Strength-Threat*), yang berarti TNI Angkatan Laut memiliki kekuatan internal yang signifikan untuk mengatasi tantangan eksternal yang dihadapi dalam proses transisi energi militer.

Kekuatan utama berada pada aspek efisiensi teknis mesin dan kapasitas produksi biodiesel domestik, yang menjadi modal penting dalam menjaga keberlanjutan logistik pertahanan laut. Kelemahan teknis, seperti penyumbatan filter dan kestabilan oksidasi bahan bakar, dapat diatasi melalui penerapan sistem pemeliharaan preventif dan peningkatan kualitas material mesin. Di sisi lain, peluang dari dukungan kebijakan energi nasional dan tren global menuju *decarbonized maritime defense* memperkuat legitimasi implementasi biodiesel di lingkungan TNI AL.

Ancaman yang muncul, seperti peningkatan beban perawatan dan risiko operasi jarak jauh, tidak dapat dihindari sepenuhnya, namun dapat dikelola secara efektif melalui

strategi adaptif berbasis teknologi, seperti *predictive maintenance system*, digitalisasi manajemen bahan bakar, dan kebijakan *dual-fuel operation*. Pendekatan ini memungkinkan TNI AL menjaga keseimbangan antara efisiensi energi, kesiapan tempur, dan keberlanjutan lingkungan.

Hasil penelitian ini juga menunjukkan bahwa transisi energi militer tidak hanya berdampak pada aspek teknis dan logistik, tetapi juga pada dimensi pendidikan dan pengembangan sumber daya manusia. Hasil SWOT dapat menjadi referensi bagi universitas teknik dalam membangun literasi energi pertahanan (*defense energy literacy*). Dengan demikian, penelitian ini memberikan kontribusi ganda baik dalam penguatan kebijakan pertahanan berkelanjutan maupun dalam transformasi pendidikan energi nasional.

Secara keseluruhan, penerapan biodiesel terbukti layak secara strategis dan operasional, asalkan didukung oleh kebijakan teknis, riset rekayasa, serta integrasi lintas lembaga yang kuat. Strategi ST merupakan pilihan optimal untuk diterapkan: memanfaatkan kekuatan internal (produksi domestik dan dukungan teknologi) guna menghadapi ancaman eksternal (perawatan dan risiko operasi) dalam kerangka ketahanan energi pertahanan laut.

## B. Saran

Perlu melaksanakan uji coba lapangan berkelanjutan (*long-term sea trial*) terhadap performa biodiesel pada berbagai tipe KRI mulai dari kapal cepat rudal, kapal patroli, hingga kapal bantu logistik. Evaluasi ini penting untuk menilai pengaruh biodiesel terhadap daya dorong, efisiensi bahan bakar, tingkat keausan komponen, dan keandalan sistem bahan bakar dalam kondisi operasional nyata. Hasil uji tersebut dapat menjadi dasar penyusunan *Defense Biofuel Standard* yang sesuai dengan karakteristik tropis Indonesia.

Pemerintah, industri energi, dan lembaga riset perlu memperkuat kolaborasi dalam bidang rekayasa sistem filtrasi, stabilitas oksidasi, dan pengawasan mutu bahan bakar biodiesel. Kolaborasi ini dapat diwujudkan melalui kemitraan antara Kementerian Pertahanan, Kementerian ESDM, BPDPKS, PT PAL Indonesia, dan perguruan tinggi teknik. Pengembangan *biodiesel grade-militer* dengan kualitas lebih stabil akan memperpanjang

umur pakai mesin dan mengurangi biaya perawatan.

Pemerintah perlu menyusun insentif riset dan kebijakan standardisasi bahan bakar militer, termasuk penetapan *Military Biodiesel Standard (MBS)* yang mencakup aspek kualitas, penyimpanan, serta rantai pasok strategis. Langkah ini akan memperkuat basis kebijakan energi nasional dan memberikan kepastian bagi industri dalam memproduksi biodiesel sesuai spesifikasi kebutuhan militer.

Perlu mengadopsi sistem *digital fuel management* dan *predictive maintenance* untuk memonitor kondisi mesin dan bahan bakar secara *real-time*. Teknologi ini memungkinkan peringatan dini terhadap potensi gangguan operasional, sekaligus meningkatkan efisiensi logistik dan transparansi penggunaan bahan bakar di seluruh armada.

## DAFTAR RUJUKAN

- Atadashi, I. M., Aroua, M. K., & Aziz, A. A. (2010). High-quality biodiesel and its diesel engine application: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14(7), 1999–2008.  
<https://doi.org/10.1016/j.rser.2010.03.020>
- Alkhalidi, A., Rahman, M. A., & Almutairi, F. (2025). Predictive maintenance and energy transition in naval logistics: Challenges and solutions. *Marine Engineering & Technology Journal*, 41(1), 45–58.  
<https://doi.org/10.1080/14744000.2025.13254>
- Creswell, J. W., & Plano Clark, V. L. (2018). *Designing and conducting mixed methods research* (3rd ed.). SAGE Publications.
- Demirbas, A. (2009). Progress and recent trends in biodiesel fuels. *Energy Conversion and Management*, 50(1), 14–34.  
<https://doi.org/10.1016/j.enconman.2008.09.001>
- European Commission. (2023). *FuelEU Maritime Regulation 2025*. Brussels: European Union.
- Field, A. (2018). *Discovering statistics using IBM SPSS Statistics* (5th ed.). SAGE Publications.
- Gurel, E., & Tat, M. (2017). SWOT analysis: A theoretical review. *The Journal of International Social Research*, 10(51), 994–

1006.  
<https://doi.org/10.17719/jisr.2017.1832>
- Helms, M. M., & Nixon, J. (2010). Exploring SWOT analysis – Where are we now? *Journal of Strategy and Management*, 3(3), 215–251.  
<https://doi.org/10.1108/17554251011064837>
- International Energy Agency (IEA). (2023). *Bioenergy and liquid biofuels report 2023: Scaling sustainable fuel systems for global resilience*. Paris: IEA Publications.
- International Maritime Organization. (2023). *IMO GHG Strategy 2023*. London: IMO.
- Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM). (2023). *Implementasi Program Biodiesel Indonesia 2023*. Jakarta: Direktorat Energi Baru Terbarukan.
- Knothe, G. (2005). Dependence of biodiesel fuel properties on the structure of fatty acid alkyl esters. *Fuel Processing Technology*, 86(10), 1059–1070.  
<https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2004.11.002>
- Lapuerta, M., Armas, O., & Rodríguez-Fernández, J. (2008). Effect of biodiesel fuels on diesel engine emissions. *Progress in Energy and Combustion Science*, 34(2), 198–223.  
<https://doi.org/10.1016/j.pecs.2007.07.001>
- Lee, D., & Shrestha, S. (2017). Integrating SWOT-AHP analysis for renewable energy policy prioritization. *Energy Policy*, 106, 547–558.  
<https://doi.org/10.1016/j.enpol.2017.03.005>
- Mittal, M., & Lim, C. H. (2024). Compatibility challenges of biodiesel in maritime propulsion systems under tropical conditions. *Scientific Reports*, 14(2039), 1–12. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-2039>
- NATO. (2021). *Defense Energy Transition Framework 2030: Greening the Alliance Operations*. Brussels: NATO Energy Security Centre of Excellence.
- Nowell, L. S., Norris, J. M., White, D. E., & Moules, N. J. (2017). Thematic analysis: Striving to meet the trustworthiness criteria. *International Journal of Qualitative Methods*, 16(1), 1–13.  
<https://doi.org/10.1177/1609406917733847>
- Saaty, T. L. (1980). *The Analytic Hierarchy Process: Planning, priority setting, resource allocation*. McGraw-Hill.
- Saaty, T. L. (2008). Decision making with the Analytic Hierarchy Process. *International Journal of Services Sciences*, 1(1), 83–98.  
<https://doi.org/10.1504/IJSSCI.2008.017590>
- Shrestha, S., & Chung, D. (2020). SWOT-AHP integrated model for renewable fuel adaptation in developing economies. *Renewable Energy*, 160, 1208–1220.  
<https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.07.041>
- Xue, J., Grift, T. E., & Hansen, A. C. (2011). Effect of biodiesel on engine performance and emissions. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(2), 1098–1116.  
<https://doi.org/10.1016/j.rser.2010.11.016>
- Yulianto, D., Prasetyo, W., & Rahman, M. (2023). Evaluating biodiesel B30 performance in tropical naval diesel systems: A case study of Indonesian patrol vessels. *Marine Energy Systems Journal*, 12(3), 211–225.  
<https://doi.org/10.1016/j.mesys.2023.04.008>