

ANALISIS PENILAIAN SISTEM AIR INDEPENDENT PROPULSION (AIP) UNTUK KAPAL SELAM TIPE U 209 GUNA MENAMBAH EFEK DETERRENT PADA ARMADA TNI AL

ANALYSIS ASSESSMENT OF AIR INDEPENDENT PROPULSION (AIP) SYSTEM FOR TYPE U-209 SUBMARINE TO INCREASE THE DETERRENT EFFECT ON THE INDONESIAN NAVY FLEET

Anissa Nurmawati¹, Romie Oktovianus B.², Bambang Joko S.³

TEKNOLOGI DAYA GERAK, FAKULTAS TEKNOLOGI PERTAHANAN, UNIVERSITAS
PERTAHANAN RI

(anissa.nurma11@gmail.com, romiebura@idu.ac.id, bambang.suroto@idu.ac.id)

Abstrak – Indonesia adalah negara maritim dengan jumlah pulau terbanyak di dunia. Oleh sebab itu, untuk menambah efek *deterrent* negara dan bangsa serta menanggulangi ancaman di wilayah laut, sudah saatnya kita meningkatkan kualitas kekuatan pertahanan melalui armada kapal selam yang handal. Salah satu tolok ukur paling berpengaruh untuk bisa disebut handal adalah kapal selam yang memiliki *submerged endurance* yang baik. Cara untuk menambah periode selam adalah melalui perubahan sistem *engine* yang ada di dalam kapal selam. Peningkatan teknologi melalui perubahan sistem utama dan pendukung *engine* ini disebut dengan *Air Independent Propulsion* (AIP). Pengembangan teknologi AIP masih terus berlangsung dan cukup dirahasiakan kemampuannya karena termasuk ke dalam kekuatan pertahanan yang harus dijaga. Dalam tulisan ini, peneliti akan menentukan parameter yang paling sesuai untuk menganalisis sistem AIP kapal selam, serta memberikan penilaian terhadap sistem propulsi AIP melalui parameter tersebut untuk mendapatkan jenis sistem propulsi yang sesuai. Penelitian ini dilakukan melalui studi literatur dan wawancara dengan pihak industri untuk menganalisis sistem AIP melalui metode kualitatif analisis *Forced Decision Matrix* (FDM). Hasil analisis menunjukkan bahwa kapal selam jenis *diesel-electric* paling sesuai dengan kondisi negara kita dengan hasil skor 1,28. Opsi terbaik kedua adalah mesin jenis CCDE dengan skor analisis 1,04. Selanjutnya mesin jenis *Stirling* menempati opsi ketiga dengan skor 0,72. MESMA menempati posisi keempat dengan skor 0,64, dan mesin jenis *Fuel Cell* di opsi terakhir dengan skor 0,40.

Kata Kunci: *Air Independent Propulsion* (AIP), *Forced Decision Matrix* (FDM), kapal selam, pertahanan, sistem propulsi.

Abstract – Indonesia is a maritime country with the world's largest islands. Therefore, to increase the *deterrent effect* of the state and tackle threats, it is time to improve the quality of our defense forces through a reliable submarine. One of the most influential standards to be called reliable is a submarine that has good *submerged endurance*. The way to increase the *submerged endurance* is through changes to the engine system in the submarine. Improved technology through changes to the main system and engine support is called *Air Independent Propulsion* (AIP). The development of this technology is still ongoing and its capabilities are sufficiently protected because it is included in the defense force which must be kept confidential. In this paper, the researchers will determine the most suitable parameters to analyze the AIP submarine and assess the AIP propulsion system through these parameters, to obtain the appropriate type of propulsion system. This research was conducted through literature studies and interviews with the industry to analyze the AIP system using the

qualitative analysis method of Forced Decision Matrix (FDM). The analysis shows that the diesel-electric submarine is the most suitable submarine for our country with a score of 1.28. The second option is the CCDE type with an analysis score of 1.04. Furthermore, the Sterling engine occupies the third option with a score of 0.72. MESMA is in fourth place with a score of 0.64, and the Fuel Cell type engine is the last option with a score of 0.40.

Keywords: Air Independent Propulsion (AIP), Forced Decision Matrix (FDM), submarine, defense, propulsion system.

Pendahuluan

UU Nomor 17 Tahun 1985 tentang pengesahan United Nations Convention on the Law of the Sea (UNCLOS) merupakan suatu bukti pengakuan resmi oleh masyarakat internasional bahwa Indonesia adalah negara kepulauan serta memiliki wilayah laut yang luas. Serta dalam UU Nomor 3 Tahun 2002 tentang Pertahanan Negara, pada pasal 1 disebutkan bahwa Pertahanan Negara adalah segala usaha untuk mempertahankan kedaulatan negara, keutuhan wilayah Negara Kesatuan Republik Indonesia, dan keselamatan segenap bangsa dari ancaman dan gangguan terhadap keutuhan bangsa dan negara.

Peraturan pertahanan negara yang telah tertuang dalam UU tersebut merupakan dasar bagi seluruh warga negara Indonesia secara menyeluruh, sesuai dengan porsinya, untuk bersatu menjaga kedaulatan negara melalui berbagai upaya. Dalam usaha melindungi kedaulatan wilayah laut yang luas, maka

Indonesia wajib memiliki armada laut yang kuat, dalam hal ini adalah kapal selam yang handal, untuk meningkatkan efek *deterrent* terhadap negara lain.

Berdasarkan pengaruh letak geografisnya, kapal selam disebut handal ketika sesuai dengan kebutuhan kita yakni kapal selam dengan ukuran medium, *submerged endurance* yang cukup lama, dan harus sesuai dengan kondisi perekonomian pertahanan kita. Semua kebutuhan tersebut diprediksi dapat dipenuhi oleh kapal selam dengan sistem propulsi *Air Independent Propulsion* (AIP). Namun karena kapal selam dengan sistem propulsi ini belum pernah diaplikasikan di Indonesia, maka perlu diadakan sebuah kajian untuk mengetahui kesesuaian jenis kapal selam tersebut untuk kita.

Ketika kapal selam diesel konvensional berada di bawah air, baterai digunakan sebagai sumber energi untuk menggerakkan *propeller* dan memenuhi kebutuhan daya kapal. Rata-rata kapasitas baterai saat ini hanya dapat

menyimpan energi untuk kebutuhan kapal selama empat hingga lima hari ke depan di bawah air, kemudian kapal harus muncul ke permukaan untuk mengisi ulang udara bahan bakar. Hal ini mengakibatkan munculnya ancaman karena posisi kapal selam telah diketahui musuh.

Kapal selam bertenaga nuklir awalnya dipertimbangkan sebagai sistem kapal selam yang mutakhir dikarenakan energinya tak terbatas dan kapasitas simpan yang efisien, namun sayangnya cukup bising, dimensinya besar, mahal, dan konstruksi kurang fleksibel.

Terdapat empat jenis sistem AIP yang dikenal di dunia internasional yakni *Closed Cycle Diesel Engine*, MESMA (*Modul d'Energie Sous-Marine Autonome / Modul Energi Submarine Autonomous*), *Stirling*, dan *Fuel Cell*. Masing-masing dari jenis AIP memiliki kekurangan dan kelebihan.

AIP jenis *Closed Cycle Diesel Engine* biasanya dioperasikan dengan cara digabungkan dengan mesin diesel standar yang telah ada di dalam kapal. Ketika kapal di permukaan, maka mesin diesel konvensional bekerja seperti biasa.

Sedangkan ketika menyelam, teknologi ini menggunakan pasokan oksigen cair yang disimpan untuk menjalankan mesin diesel. Oksigen cair

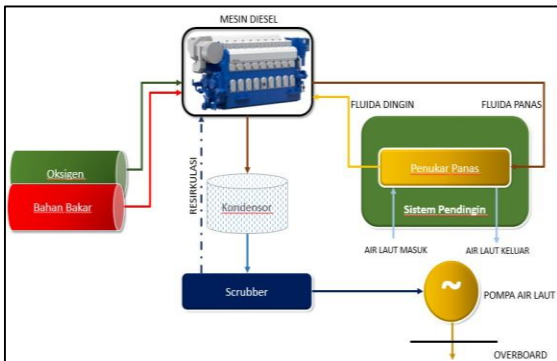
(LOX) disimpan dalam tangki, lalu dicampur dengan *inert gas* agar mesin dapat berjalan dengan aman, dan kemudian dikirim ke mesin untuk digunakan.

AIP jenis MESMA adalah sistem yang memanfaatkan etanol dan oksigen sebagai sumber energi. Pembakaran etanol dan oksigen di bawah tekanan tinggi (60 atm) digunakan untuk menghasilkan uap, kemudian *steam* hasil pembakaran ini akan digunakan untuk menjalankan turbin. Sisa gas buang yang berupa karbondioksida bertekanan tinggi akan dengan mudah dibuang ke laut meski tanpa kompresor.

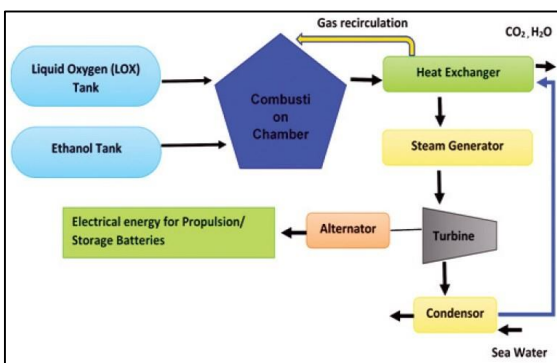
AIP jenis *Stirling* adalah mesin siklus tertutup dengan fluida kerja yang terkandung secara permanen di dalam sistem. Sumber energi digunakan untuk memanaskan fluida kerja yang kemudian menggerakkan piston dan menjalankan mesin. Mesin digabungkan dengan generator, yang akhirnya menghasilkan listrik sekaligus mengisi baterai. Sumber energi yang digunakan di sini adalah LOX (sebagai pengoksidasi) dan bahan bakar diesel, yang dibakar pada tekanan yang lebih tinggi daripada air di sekelilingnya, untuk menghasilkan panas fluida kerja.

AIP jenis *Fuel Cell* AIP bekerja dengan cara mengubah energi kimia

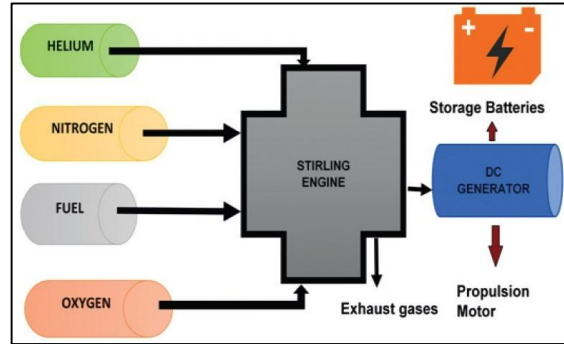
menjadi listrik dengan menggunakan bahan bakar (hidrogen) dan oksidator (oksigen). Reaksi kimia ini dilakukan oleh sel elektrolitik yang terdiri dari dua elektroda (anoda dan katoda), yang dipisahkan oleh penghalang elektrolitik. Reaksi antara katoda dan anoda ini akan menghasilkan arus listrik yang digunakan untuk mengisi baterai. Berikut skema mesin propulsi untuk masing-masing jenis AIP pada gambar 1 hingga gambar 4.



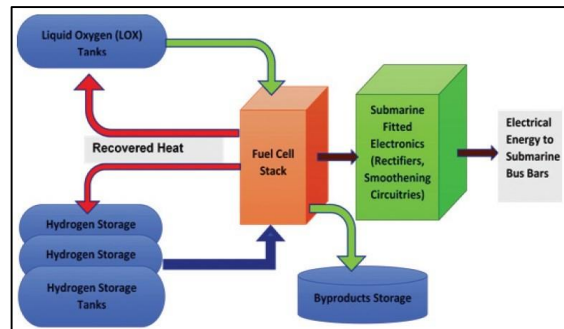
Gambar 1. AIP CCDE
Sumber: Diolah Peneliti, 2021



Gambar 2. AIP MESMA
Sumber: Menon, R., R., 2020



Gambar 3. AIP Stirling
Sumber: Menon R., R., 2020



Gambar 4. AIP Fuel Cell
Sumber: Menon R., R., 2020

Pada akhirnya, penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan kapal selam terbaik dengan jenis mesin AIP yang paling cocok dengan kondisi negara kita.

Metode Penelitian

Forced Decision Matrix (FDM) merupakan salah satu model pengambilan keputusan dengan multiple criteria. FDM memungkinkan peneliti untuk bisa menyederhanakan dan mempercepat proses pengambilan keputusan dengan berbagai pertimbangan yang ditampilkan secara Metode Penelitian informatif. Inti dari

konsep FDM adalah penilaian terhadap komponen yang menang dan kalah dengan nilai 1 dan 0.

Sebuah metode yang cukup akurat untuk menyederhanakan beberapa alternatif dengan berbagai parameter yang telah ditentukan Diawali dengan penentuan parameter, kemudian setiap alternatif akan diproses untuk disesuaikan dengan parameter yang telah dimiliki, lalu dianalisis dengan metode FDM dan dihasilkan sistem propulsi terbaik dalam bentuk ranking. Berikut ini hasil parameter yang bisa digunakan sebagai bahan analisis alternative.

Tabel 1. Parameter Analisis

PARTICULAR IDENTIFICATION PARAMETER
<i>Investment Cost</i>
<i>Operation Cost</i>
<i>Sustainability in Operation</i>
<i>Energy Density</i>
<i>Fuel Efficiency</i>

Sumber: Diolah Peneliti, 2021

Hasil dan Pembahasan

Analisis diawali dengan penghitungan koefisien bobot (AWC) didasarkan pada pendekatan matriks yang mengacu pada skenario parameter yang telah kita tentukan di atas secara berpasangan. Inti dari perhitungan AWC adalah dengan menggunakan nilai bobot dari skenario parameter ini. Parameter terpenting dibandingkan parameter

pasangannya akan diberi nilai '1' dan yang memiliki pertimbangan paling rendah diberi nilai '0'. Bobot yang diberikan untuk setiap parameter berbeda akan dijumlahkan dan dibagi dengan jumlah total perbandingan yang dibuat dalam matriks tersebut. Berikut gambar hasil matriks AWC untuk selanjutnya diteruskan dengan penghitungan matriks SWC dan TWC.

Tabel 2. Matriks AWC

	1	2	3	4	5	AWC
1		1	0	1	1	0.60
2	0					0.4
3	1					0.80
4	0					0.20
5	0					0

Sumber: Diolah Peneliti, 2021

a. *Investment Cost*

Investment cost sangat penting dipertimbangkan di awal untuk disesuaikan dengan dana yang kita miliki karena harus dikeluarkan dalam jumlah besar di waktu yang singkat atau berdekatan. Atribut biaya yang perlu diketahui ketika membeli sebuah kapal baru adalah: biaya pelatihan untuk karyawan di lokasi galangan penerima (galangan BUMN/BUMS atau galangan milik AL); pelatihan untuk user yang akan mengoperasikan kapal baru tersebut, biaya organisasi kepengurusan jual beli,

biaya *spare part* yang meliputi biaya dokumen/buku-buku standar operasi dan pemeliharaan, serta biaya tambahan

lainnya. Berikut gambar hasil matriks SWC *investment cost*.

Tabel 3. Matriks SWC *Investment Cost*

	Diesel	CCDE	MESMA	SE	FC	SWC
Diesel	1	1	1	1	1	0.80
CCDE	0	1	1	1	1	0.60
MESMA	0	0	1	1	1	0.40
SE	0	0	0	1	1	0.20
FC	0	0	0	0	1	0.00

Sumber: Diolah Peneliti, 2021

b. Operation Cost

Komponen biaya operasi kapal diantaranya adalah biaya modal (depresiasi), biaya anak buah kapal (ABK), biaya reparasi, pemeliharaan dan *supply* (RMS), biaya asuransi, biaya minyak pelumas, biaya bahan bakar dan biaya pelabuhan . Berikut gambar hasil matriks SWC *operation cost*.

Tabel 4. Matriks SWC *Operation Cost*

	Diesel	CCDE	MESMA	SE	FC	SWC
Diesel	1	1	0	1	0	0.40
CCDE	1	1	0	1	0	0.40
MESMA	1	1	1	1	0	0.80
SE	1	1	0	1	0	0.40
FC	1	1	0	1	1	0.60

Sumber: Diolah Peneliti, 2021

c. Sustainability in Operation

Dalam hal ini, *sustainability in operation* memiliki makna keberlangsungan hidup dari sebuah kapal selam untuk bisa terus beroperasi dan dimanfaatkan sesuai dengan usia

pakainya. Untuk keberlangsungan operasi sebuah kapal selam maka beberapa hal yang diperlukan antara lain adalah pemeliharaan komponen dan sistem kapal selam, serta pemenuhan bahan bakar tiap periode tertentu. Berikut gambar hasil matriks SWC *sustainability in operation*.

Tabel 5. Matriks SWC *Sustainability in Operation*

	Diesel	CCDE	MESMA	SE	FC	SWC
Diesel	1	1	1	1	1	0.80
CCDE	0	1	1	1	1	0.60
MESMA	0	0	1	0	0	0.00
SE	0	0	1	1	1	0.40
FC	0	0	0	0	1	0.00

Sumber: Diolah Peneliti, 2021

d. Energy Density

Energy Density atau yang biasa disebut dengan kerapatan energi merupakan kemampuan untuk menyimpan energi dalam suatu ruang wilayah tertentu per satuan volume yang dinyatakan dalam kWh/L. Besarnya

energy density pada berbagai jenis Air Independent Propulsion System menentukan banyaknya jumlah penyimpanan energi yang akan dibawa. Berikut gambar hasil matriks SWC energy density.

Tabel 6. Matriks SWC Energy Density

	Diesel	CCDE	MESMA	SE	FC	SWC
Diesel		1	1	1	1	0.80
CCDE	1		1	1	1	0.80
MESMA	0	0		0	1	0.20
SE	1	1	1		1	0.80
FC	0	0	0	0		0.00

Sumber: Diolah Peneliti, 2021

e. Fuel Efficiency

Efisiensi bahan bakar adalah salah satu bentuk efisiensi termal, yang artinya adalah perbandingan usaha dengan hasil dari suatu proses mengubah energi potensial kimiawi dalam suatu carrier (bahan bakar) menjadi energi kinetik atau kerja. Untuk keperluan transportasi, dalam hal ini kapal selam, sangat penting untuk mempertimbangkan parameter ini karena berpengaruh pada dimensi kapal, energi yang dihasilkan, emisi yang muncul, kebutuhan bahan bakar, dan biaya yang harus dikeluarkan dalam jangka panjang. Berikut gambar hasil matriks SWC fuel efficiency.

Tabel 7. Matriks SWC Fuel Efficiency

	Diesel	CCDE	MESMA	SE	FC	SWC
Diesel		1	1	1	0	0.60
CCDE	0		1	0	0	0.20
MESMA	0	0		0	0	0.00
SE	1	1	1		0	0.60
FC	1	1	1	1		0.80

Sumber: Diolah Peneliti, 2021

f. Penghitungan nilai TWC

Total Weight Coefficient (TWC)

merupakan hasil penjumlahan dari seluruh Total Weight (TW) masing-masing parameter kritis. Hasil yang didapatkan berikut ini berdasarkan penghitungan TW setiap komponen dari sistem AIP dengan parameter yang telah dibahas sebelumnya.

Hasil nilai TW ini mencerminkan peringkat yang didapatkan oleh masing-masing tipe propulsi AIP sehingga bisa menjadi rekomendasi penggunaan kapal selam AIP sesuai bobot peringkatnya.

Tabel 8. Matriks TW

			1	2	3	4	5	TWC
1	Diesel	AWC	0.60	0.40	0.80	0.20	0.00	1.44
		SWC	0.80	0.40	0.80	0.80	0.60	
		TW	0.48	0.16	0.64	0.16	0.00	
2	CCDE	AWC	0.60	0.40	0.80	0.20	0.00	1.16
		SWC	0.60	0.40	0.60	0.80	0.20	
		TW	0.36	0.16	0.48	0.16	0.00	
3	MESMA	AWC	0.60	0.40	0.80	0.20	0.00	0.60
		SWC	0.40	0.80	0.00	0.20	0.00	
		TW	0.24	0.32	0.00	0.04	0.00	
4	SE	AWC	0.60	0.40	0.80	0.20	0.00	0.76
		SWC	0.20	0.40	0.40	0.80	0.60	
		TW	0.12	0.16	0.32	0.16	0.00	
5	FC	AWC	0.60	0.40	0.80	0.20	0.00	0.24
		SWC	0.00	0.60	0.00	0.00	0.80	
		TW	0.00	0.24	0.00	0.00	0.00	

Sumber: Diolah Peneliti, 2021

**Kesimpulan Rekomendasi dan
Pembatasan**

Hasil analisis merupakan jawaban dari rumusan masalah kedua, dimana opsi terbaik untuk Indonesia memang kapal selam dengan mesin jenis *diesel-electric* dengan skor 1,28. Untuk mendapatkan kapal selam yang sedikit lebih handal, yakni dengan *endurance* selam yang sedikit lebih lama, bisa kita dapatkan dari mesin kapal selam jenis *closed cycle diesel engine* (CCDE) dengan beberapa penyesuaian. Kapal selam jenis *Stirling* menjadi opsi ketiga karena kehandalan kapal yang kita dapatkan harus diikuti oleh upaya yang cukup besar. Opsi keempat adalah mesin jenis MESMA dimana keuntungan dan upaya yang harus kita keluarkan tidak berbeda jauh dengan mesin *Stirling* namun dengan keberlanjutan operasi yang lebih tidak terjamin karena bahan bakar etanolnya. Opsi terakhir yakni sistem *Fuel Cell*, merupakan kapal selam dengan teknologi ter-mutakhir namun biaya dan nilai keberlanjutannya sangat sulit untuk dijangkau di negara Indonesia.

Daftar Pustaka

- Anwar, Syaiful. (2015). Penguasaan Teknologi Pertahanan oleh SDM Pertahanan Indonesia dalam Rangka Menghadapi Peperangan Masa Depan. *Jurnal Pertahanan*, 5 (1), April
- Asmoro, N. D., Setiarso, B., & Sukarno. (2018). Perumusan Strategi Penguasaan Industri Maritim untuk Memperkuat Pertahanan Negara. *Jurnal Optimasi Sistem Industri* Vol. 17 No 2, 162-170.
- Lain, M., J., Brandon, J., Kendrick, E. (2019). Design Strategies for High Power vs. High Energy Lithium Ion Cells. *MDPI Battery Journal*, 5, 64; Doi: 10.3390/batteries5040064
- Lee, J., Shay, T. (2018). Analysis of Fuel Cell Applied for Submarine Air Independent Propulsion (AIP) System. *Journal of Marine Science and Technology*, 26, 657-666. Doi: 10.6119/JMST.201810_26 (5).0005
- Menon, R., R., Vijayakumar, R., Pandey, J., K. (2020). Selection of Optimal Air Independent Propulsion System using Forced Decision Matrix. *Defence Science Journal*, Vol. 70, No. 1, January 2020, pp. 103-109, DOI: 10.14429/dsj.70.13678
- Moleong, L. (2010). Metode Penelitian Kualitatif. Bandung: Remaja Rosdakarya.
- Pemerintah Indonesia. 1985. Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 17 Tahun 1985 tentang Pengesahan United Nations Convention on the Law of the Sea (Konvensi Perserikatan Bangsa-Bangsa Tentang Hukum Laut). Lembaran RI Tahun 1985 No. 17. Jakarta : Sekretariat Negara.
- Pemerintah Indonesia. 1996. Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 6 Tahun 1996 tentang Perairan Indonesia. Lembaran RI Tahun 1996 No. 6. Jakarta : Sekretariat Negara.
- Pemerintah Indonesia. 1983. Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 1983 tentang Zona Ekonomi Eksklusif Indonesia. Lembaran RI Tahun 1983 No. 5. Jakarta : Sekretariat Negara.

Sihombing, N. A., & HASIBUAN, N. (2019).
Ketahanan Nasional.
<https://doi.org/10.31227/osf.io/9twza>