

Pemodelan Kapal Listrik Hibrid Energi Terbarukan BARUNA Untuk Mencapai Indonesia *Net Zero* *Emission 2060 di Era Society 5.0*

Rika Safitri^{1*}, Muhammad Sadam Rizkylillah¹, Aisyah Nabila¹

¹Universitas Negeri Jakarta, Indonesia

ABSTRACT

Indonesia, as a vast archipelago with a total area of 1,904,556 km² and consisting of 17,508 islands, possesses 5.8 million km² of ocean covering 70% of its territory and a coastline stretching 81,290 km. The abundant marine resources make sea transportation crucial for goods and people between islands, with demand increasing. However, increased maritime activity has led to ocean pollution, primarily from transportation activities, ranking second in marine debris and greenhouse gas emissions in Indonesia. To achieve the Indonesia Net Zero Emission 2060 target, emission-free sea transportation solutions utilizing Indonesia's renewable energy sources are needed for environmental sustainability, a pillar of Society 5.0. This research aims to design BARUNA, a renewable energy-based hybrid electric ship, using local sources like solar and marine energy. By employing a design and development approach and the Miles and Huberman model for data analysis, this research presents the results of the design, 4D model simulation, and calculations for a renewable energy-based hybrid electric ship using software. The modeling shows BARUNA can generate up to 225,887 MW of electricity, cut emissions by 25%, and save up to 20% compared to fossil fuels. This concept merges electric ship technology with renewable energy for eco-friendly, emission-free power, contributing to Indonesia's Net Zero Emission 2060 goal and reducing marine ecosystem damage, paving the way for a future sustainable environment in the Society 5.0 era.

ABSTRAK

Indonesia, sebagai negara kepulauan yang luas dengan total wilayah 1.904.556 km² dan terdiri dari 17.508 pulau, memiliki 5,8 juta km² lautan yang mencakup 70% dari total wilayahnya serta garis pantai sepanjang 81.290 km. Sumber daya kelautan yang melimpah menjadikan transportasi laut sangat krusial untuk pergerakan barang dan orang antar pulau, di mana permintaan terus meningkat. Namun, aktivitas maritim yang meningkat menyebabkan polusi laut, terutama dari aktivitas transportasi yang menjadi sumber terbesar kedua sampah laut dan emisi gas rumah kaca di Indonesia. Untuk mencapai target Indonesia *Net Zero Emission 2060*, diperlukan solusi transportasi laut tanpa emisi yang memanfaatkan energi terbarukan yang melimpah di Indonesia sebagai upaya untuk menciptakan keberlanjutan lingkungan, yang merupakan salah satu pilar utama *Society 5.0*. Penelitian ini bertujuan untuk merancang BARUNA, kapal listrik hibrida berbasis energi terbarukan, yang memanfaatkan sumber energi terbarukan lokal seperti energi surya dan energi laut. Dengan menggunakan pendekatan desain dan pengembangan serta model Miles dan Huberman untuk analisis data, penelitian ini menyajikan hasil desain dan simulasi model 4D serta perhitungan kapal listrik hibrida berbasis energi terbarukan menggunakan perangkat lunak. Hasil pemodelan menunjukkan bahwa kapal BARUNA dapat menghasilkan listrik hingga 225.887 MW, mengurangi emisi sebesar 25%, dan efisiensi biaya hingga 20% lebih murah dibandingkan penggunaan bahan bakar minyak. Konsep inovatif ini menggabungkan teknologi kapal listrik dan energi terbarukan, menawarkan tenaga listrik ramah lingkungan tanpa emisi. Hal ini berkontribusi pada realisasi target Indonesia *Net Zero Emission 2060* serta mengurangi kerusakan ekosistem laut, membuka jalan menuju masa depan lingkungan yang berkelanjutan dalam era *Society 5.0*.

KONTAK

Rikasafitri47@gmail.com

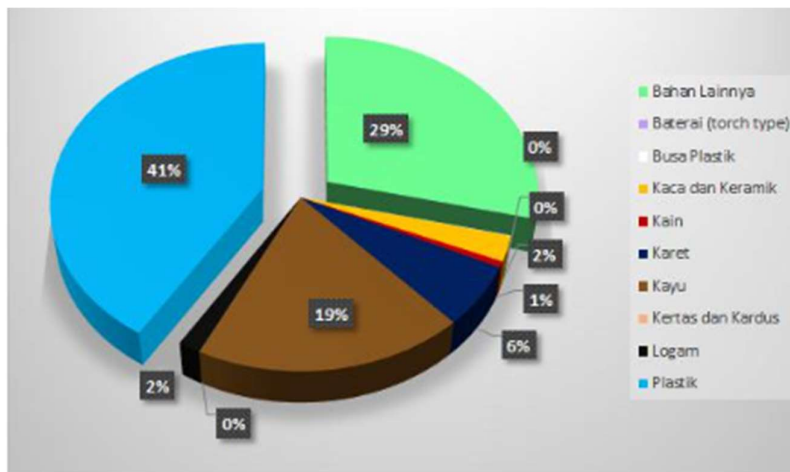
KATA KUNCI

Electric Boat, Sea Pollution,
Renewable Energy Technology

PENDAHULUAN

Indonesia, negara kepulauan seluas 1.904.556 km², terdiri dari 17.508 pulau, 5,8 juta km² lautan (70% dari total luas), dan 81.290 km garis pantai (Arrohman, & Himawanto, 2021). Karena wilayah laut dan perairannya yang luas, Indonesia dianggap sangat kaya akan sumber daya laut (Darza, 2020). Penelitian terbaru yang dilakukan Puji Rahmadi (2019), peneliti dari Pusat Penelitian Oseanografi LIPI mengungkapkan, nilai kekayaan laut Indonesia

mencapai Rp1.772 triliun. Kekayaan tersebut berasal dari berbagai sumber seperti ikan, terumbu karang, ekosistem mangrove, potensi wisata bahari, dan lainnya. Potensi sumber daya laut dan wilayah laut negara yang sangat besar membuat transportasi laut sangat penting untuk pergerakan barang dan orang antar pulau (Wachjoe, et al., 2020). Selain itu, pertumbuhan pariwisata di daerah tertentu juga menyebabkan pesatnya perkembangan transportasi laut di Indonesia (Darza, 2020; Rahmadi, 2019). Oleh karena itu, kemajuan teknologi infrastruktur transportasi laut di Indonesia juga ikut berkembang pesat (Wachjoe, et al., 2020). Namun, perkembangan tersebut mengakibatkan meningkatnya pencemaran yang disebabkan oleh aktivitas transportasi laut (Darza, 2020).



Gambar 1. Komposisi Sampah Laut di Indonesia
(Sumber: Kementerian Kelautan dan Perikanan RI, 2017)

Gambar 1 menunjukkan data komposisi sampah laut di Indonesia pada tahun 2017 – 2018 yang jumlahnya terus meningkat sampai saat ini. Berdasarkan data tersebut, minyak dan zat berbahaya lainnya menjadi penyumbang pencemaran laut terbesar kedua di Indonesia. Menurut PP No.19/1999 tentang pencemaran laut, pencemaran laut diartikan sebagai masuknya/dimasukkannya makhluk hidup, zat, energi, dan/atau komponen lain ke dalam lingkungan laut oleh kegiatan manusia sehingga kualitasnya turun sampai ke tingkat tertentu yang menyebabkan lingkungan laut tidak sesuai lagi dengan baku mutu dan/atau fungsinya. Pencemaran laut menjadi perhatian masyarakat dan pemerintah Indonesia karena dapat merusak ekosistem laut sebagai sumber kehidupan masyarakat sekitar pantai maupun masyarakat pada umumnya (Darza, 2020). Polusi dari tumpahan minyak dan bahan kimia yang terjadi ketika kapal beroperasi (Guo, et al., 2022), serta emisi gas buang yang dihasilkan dari pembakaran bahan bakar minyak kapal (Amin, 2016) menjadi penyebab utama pencemaran laut. Dalam jangka pendek, molekul hidrokarbon minyak dapat merusak sel biota laut, mengakibatkan kematian pada ikan, dan keracunan karbondioksida dan bahan berbahaya lainnya (Guo, et al., 2022). Sementara dalam jangka panjang, minyak di laut dapat dimakan oleh biota laut, burung, bahkan manusia melalui sumber makanan laut (Darza, 2020), serta bahan bakar minyak menjadi semakin langka (Saadah, et al., 2017). Selain itu, emisi hasil pembakaran bahan bakar minyak pada kapal juga menyumbang 3% dari emisi gas rumah kaca dan menjadi penyebab utama pemanasan global (Helfre, et al., 2013), yang turut merusak ekosistem laut Indonesia.

Permasalahan pencemaran ekosistem laut akibat kapal laut pernah coba diatasi dengan kapal Listrik bertenaga panel surya. Namun, terdapat kelemahan apabila cuaca laut sedang mendung atau saat malam hari maka panel surya tidak dapat memanen listrik untuk tenaga kapal, sehingga masih memerlukan bantuan cadangan energi dari bensin untuk mengoperasikan mesin kapal (Chiche, dkk., 2021). Indonesia merupakan salah satu negara dengan potensi energi baru terbarukan (EBT) yang sangat besar yang dapat digunakan sebagai pembangkit listrik, bukan hanya dari solar panel saja (Fatih A. R., dkk., 2021). Seperti yang ditunjukkan oleh Tabel 1, dapat diketahui bahwa potensi energi terbarukan selain surya di Indonesia sangatlah besar, namun angka pemanfaatannya masih sangat kecil. Padahal Indonesia memiliki target penggunaan energi bebas emisi dan penurunan produksi emisi karbon secara berkala hingga tahun 2060 yang dikenal dengan target Indonesia *Net Zero Emission 2060*. Permasalahan pencemaran ekosistem laut ini juga termasuk ke dalam Tujuan Pembangunan Berkelanjutan (SDGs), yaitu mencegah dan secara signifikan mengurangi semua jenis pencemaran laut, khususnya dari kegiatan berbasis lahan, sampah laut, dan polusi (SDGs tujuan 14 poin 14.1). Permasalahan tersebut pernah diatasi dengan penggunaan solar PV (energi

surya) pada kapal laut, namun masih memiliki kekurangan yakni tidak dapat mensuplai listrik yang cukup di malam hari, sehingga masih memerlukan minyak sebagai energi penyokongnya (Guo, et al., 2022). Sehingga diperlukan inovasi teknologi berbasis energi terbarukan lainnya untuk mengatasi permasalahan ini. Hal ini pun sejalan dengan Tujuan Pembangunan Berkelanjutan (SDGs) lainnya, yaitu memperluas infrastruktur dan meningkatkan teknologi untuk menyediakan energi baru terbarukan yang modern dan berkelanjutan bagi negara-negara berkembang (SDGs tujuan 7 poin 7.b).

Tabel 1. Potensi Energi Baru dan Terbarukan di Indonesia

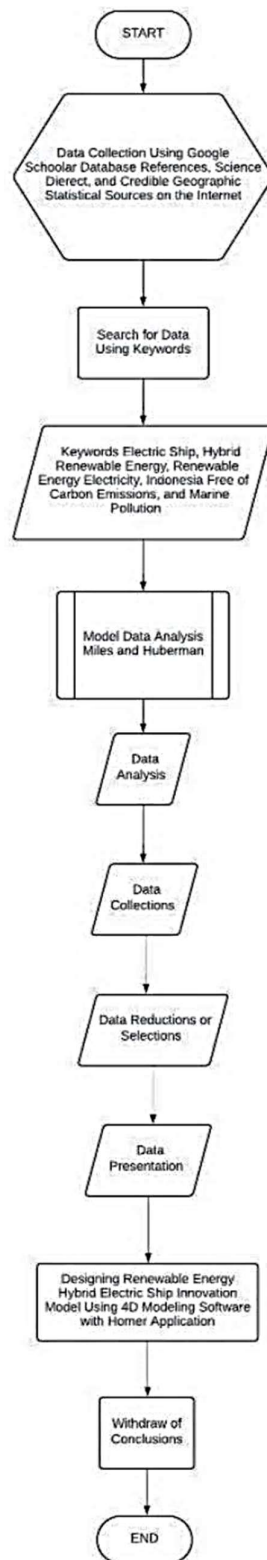
No	Jenis Energi	Potensi	Kapasitas Terpasang	Pemanfaatan
1	Panas Bumi	29.544 MW	1.438,5 MW	4,9%
2	Hydro	75.091 MW	4.826,7 MW	6,4%
3	Mini-micro Hydro	19.385 MW	197,4 MW	1,0%
4	Bioenergi	32.654 MW	1.671,0 MW	5,1%
5	Surya	207.898 MW (4,80 kWh/m ² /hari)	78,5 MW	0,04%
6	Angin	60.647 MW (≥ 4m/s)	3,1 MW	0,01%
7	Gelombang Laut	17.989 MW	0,3 MW	0,002%

(Sumber: Peraturan Presiden Nomor 22 Tahun 2017 tentang Rencana Umum Energi Nasional)

Berdasarkan latar belakang tersebut, maka penting untuk dilakukan kajian mengenai inovasi transportasi laut yang dapat beroperasi tanpa menghasilkan pencemaran laut. Melihat potensi luasnya wilayah laut yang dimiliki oleh Indonesia, hal ini dapat dimanfaatkan untuk menciptakan inovasi kapal hybrid energi laut dan matahari. Penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk merancang inovasi kapal listrik bertenaga hybrid energi terbarukan dengan memanfaatkan potensi lokal energi terbarukan di Indonesia. Inovasi konsep kapal listrik dalam penelitian ini menggabungkan teknologi kapal dan energi terbarukan untuk menghasilkan energi listrik ramah lingkungan tanpa menghasilkan emisi atau mengakibatkan kerusakan ekosistem laut. Selain untuk mengatasi permasalahan pencemaran ekosistem laut, inovasi konsep ini dibuat dalam rangka mewujudkan Indonesia *Net Zero Emission* 2060.

METODOLOGI

Penelitian ini menggunakan metode penelitian studi pustaka. Studi pustaka atau studi literatur merupakan hasil kajian tertulis yang bersumber dari jurnal, artikel, buku, dan dokumen lain yang berisi tentang uraian masa lalu atau sekarang yang relevan dengan judul penelitian (Sugiyono, 2022). Pengumpulan data dilakukan dengan pencarian referensi melalui beberapa database seperti Google Scholar, Science Direct, dan sumber statistik geografis kredibel lainnya di internet. Kata kunci yang digunakan untuk melakukan pencarian ialah kapal listrik, hybrid energi terbarukan, Listrik energi baru terbarukan, Indonesia bebas emisi karbon, dan pencemaran laut. Data-data yang telah dikumpulkan dianalisis menggunakan analisis data model Miles and Huberman (1984). Pada model ini terdapat 4 tahap analisis data, yaitu pengumpulan data, reduksi atau pemilihan data, penyajian data, dan penarikan kesimpulan. Pemilihan data dilakukan saat proses pencarian referensi berlangsung. Penyajian data yang dilakukan ialah merancang model inovasi kapal listrik hybrid energi terbarukan menggunakan *software* pemodelan 4D dan *software* perhitungan potensi energi, HOMER. Alur penelitian yang dilakukan pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Diagram Alur Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Konsep Inovasi Kapal Listrik Hibrid Energi Terbarukan BARUNA

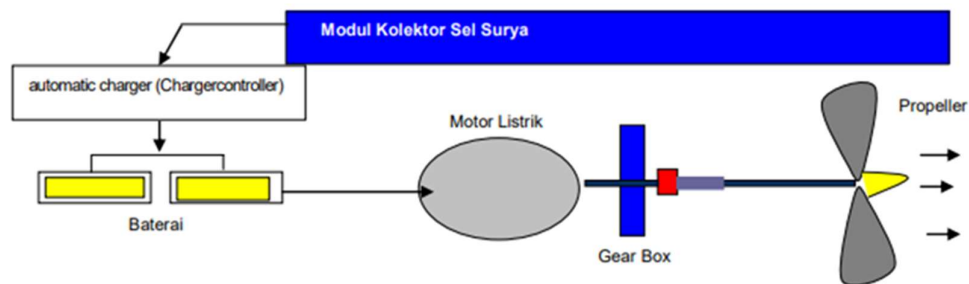
Inovasi konsep kapal ini diberi nama BARUNA (diambil dari Bahasa Sansekerta yang berarti “Dewa Laut”). BARUNA merupakan konsep kapal listrik dengan teknologi yang dapat memanfaatkan gabungan energi matahari dan energi laut (gelombang laut dan panas laut) sebagai tenaga penggerak. Kapal listrik (Electric Boat) sebagai kendaraan listrik memiliki cara kerja yang sama dengan mobil listrik (Wachjoe, et al., 2020). Kendaraan listrik mempunyai keunggulan yaitu lebih efisien dibandingkan kendaraan bertenaga motor bensin. Pada kendaraan roda empat (mobil listrik) full tank, 20 kwh merupakan jarak tempuh 100 km dengan harga per 1 kwh sekitar Rp 1.647-an (Wijaya, 2010) harga tersebut juga akan sebanding dengan harga per kwh pada electric boat, selain memiliki keunggulan karena tidak mengeluarkan gas buang (asap) yang kerap menimbulkan polusi udara dan lebih ramah lingkungan, electric boat juga tidak menggunakan minyak pelumas (oli), seperti yang digunakan oleh kapal berbahan bakar minyak lainnya (Chamdareno, et al., 2019). Hal ini dapat mencegah rusaknya ekosistem laut dari potensi kebocoran tangki oli seperti yang sudah banyak terjadi, sehingga tepat sekali jika inovasi teknologi kapal ini akan dapat mewujudkan Indonesia bebas polusi laut akibat emisi, khususnya di sektor transportasi maritim. Ilustrasi kapal BARUNA dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Ilustrasi Pemodelan 4D Kapal BARUNA

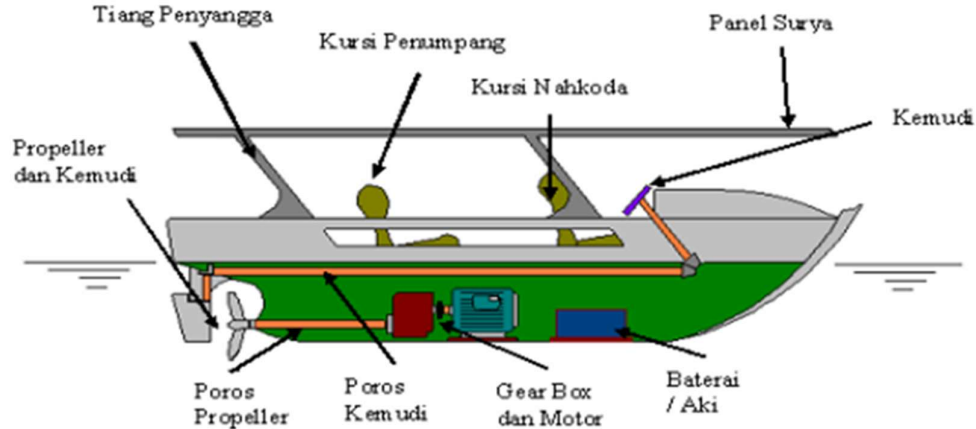
Kendaraan listrik mengubah energi listrik menjadi energi mekanik melalui alat yang bernama motor listrik (Guo, et al., 2022). Motor listrik yang dijadikan sumber penggerak kapal pada konsep kapal BARUNA akan ditenagai listrik yang berasal dari gabungan (hybrid) energi matahari dan energi laut. Secara keseluruhan, konsep kerja sistem renewable hybrid energy dalam kapal BARUNA ini adalah dengan mengintegrasikan teknologi pembangkitan energi listrik dari matahari, gelombang laut dan panas laut. Dalam penggabungan ini, kapal dapat berlayar sambil menghasilkan listrik sebagai sumber daya penggerak kapal. Penggunaan renewable energy hybrid menghasilkan daya listrik yang ditingkatkan tegangannya menggunakan rangkaian AC/AC boost converter sehingga menghasilkan keluaran tegangan yang lebih tinggi dengan daya yang sama. Daya tersebut kemudian digunakan untuk menggerakkan mesin kapal atau dapat disimpan dalam baterai sehingga pasokan listrik ke kapal tidak mengalami kekurangan. Dalam keseluruhan rangkaian, konsep ini menggabungkan teknologi kapal dan energi terbarukan untuk menghasilkan energi listrik ramah lingkungan tanpa menghasilkan emisi atau mengakibatkan kerusakan ekosistem laut yang dijadikan sebagai sumber daya penggerak kapal sekaligus memastikan kelangsungan pasokan listrik yang berkelanjutan

Pemanfaatan Energi Surya pada Kapal BARUNA



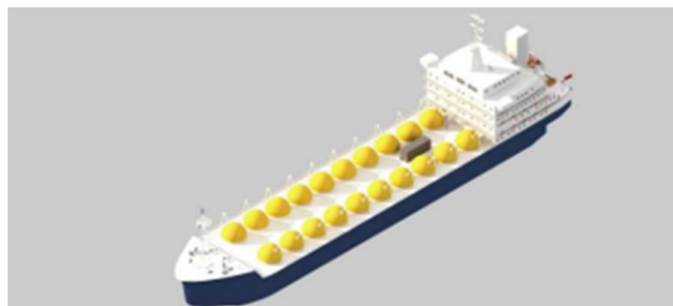
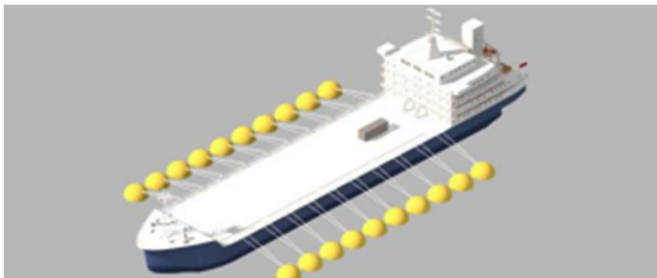
Gambar 4. Skema Sistem Propulsi Kapal Bertenaga Surya
(Sumber: Sudiyono & Antoko, 2008)

Energi surya merupakan bentuk energi elektromagnetik yang terus-menerus dipancarkan ke bumi oleh matahari (Sudiyono & Antoko, 2008). Karena Indonesia terletak di daerah katulistiwa dengan lintang antara 60LU - 110LS dan bujur antara 950BT - 1410BT, serta peredaran matahari dalam setahun yang berada di daerah 23,50LU dan 23,50LS, maka Indonesia dapat disinari matahari selama 10 - 12 jam per hari (Bakoren, 1991). Oleh karena itu, energi matahari dapat dimanfaatkan sebagai hybrid energy konsep kapal BARUNA. Modul PV akan dirancang untuk dapat dipasang di atas kapal dengan ukuran dan massa yang ringan, sehingga tidak menambah beban kapal dan menjaga stabilitas kapal (Sudiyono & Antoko, 2008), seperti ditunjukkan pada Gambar 5. Listrik yang dihasilkan akan disimpan dalam baterai dan dialirkan ke motor listrik untuk menggerakkan propeller kapal. Sistem instalasi suplai listrik baterai penyimpanan energi surya dibuat terpisah dari energi laut agar kapten atau kru kapal dapat memilih penggunaan listrik secara fleksibel saat kapal beroperasi, seperti ditunjukkan pada Gambar 4.



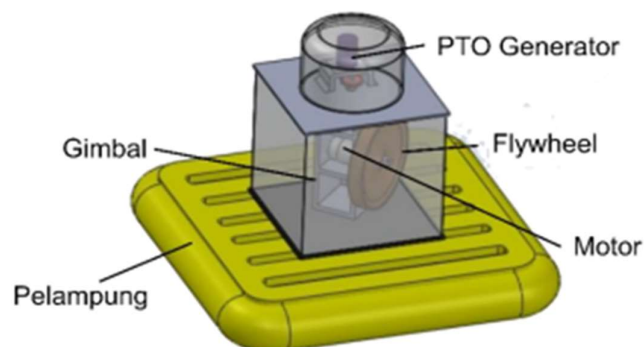
Gambar 5. Ilustrasi Pemodelan Pemasangan Panel Surya di Atas Kapal
(Sumber: Sudiyono & Antoko, 2008)

Pemanfaatan Energi Gelombang Laut pada Kapal BARUNA



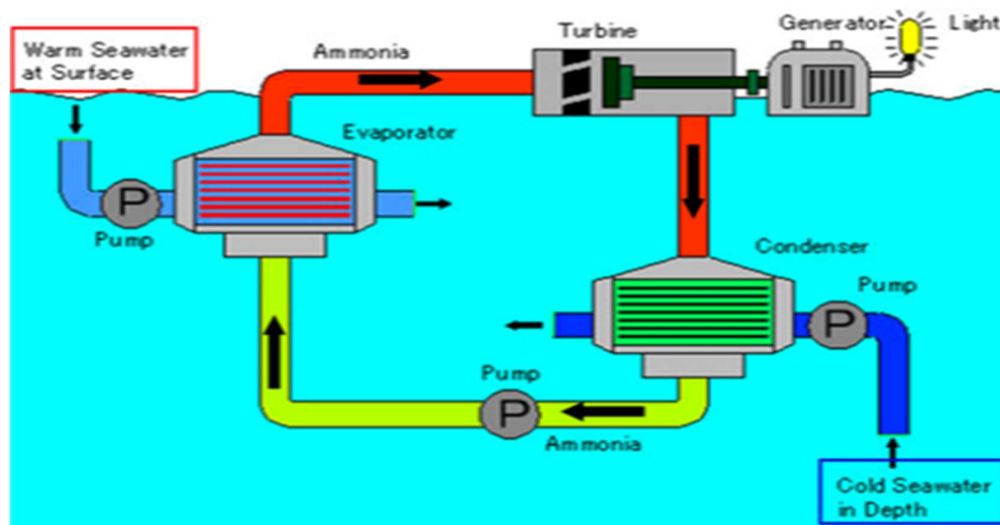
Gambar 6. Ilustrasi Peletakkan Pelampung Fleksibel pada Kapal BARUNA

Pemanfaatan energi kelautan di Indonesia masih sangat rendah, hanya mencapai 0,002% dari total potensi pemanfaatan energi kelautan yang mencapai 17.989 MW (Kementerian ESDM, 2018). Hal ini sangat disayangkan mengingat Indonesia terdiri dari 70% laut. Energi kelautan yang berpotensi digunakan sebagai penggerak kapal adalah energi gerakan gelombang laut atau Oscillating Water Column (OWC) dan energi panas laut atau Ocean Thermal Energy Conversion (OTEC). Pemanfaatan teknologi OWC untuk pembangkit listrik sangat ramah lingkungan, tidak merusak ekosistem alam (Agustina, et al., 2021), dan dapat diaplikasikan pada konsep kapal BARUNA. Tinggi gelombang laut di seluruh Indonesia rata-rata mencapai 1-4 meter, memenuhi syarat untuk pembangkitan listrik tenaga OWC (Arrohman & Himawanto, 2021). Pemasangan pelampung di sisi kapal sebagai pengaplikasian OWC pada konsep kapal BARUNA akan membuat pelampung terombang-ambing oleh gelombang laut (dapat dilihat pada Gambar 6), sehingga terjadi kemiringan yang membuat flywheel berputar. Flywheel yang berputar menggerakkan gimbal (gyroscope), sehingga gimbal berputar secara perlahan. Turbin generator dibuat lebih besar dan dihubungkan dengan gimbal, hal ini akan membuat generator berputar lebih cepat untuk menghasilkan listrik yang lebih besar (Agustina, et al., 2021). Ilustrasi pelampung OWC dapat dilihat pada Gambar 7. Listrik yang dihasilkan dialirkan ke motor untuk menggerakkan propeller kapal. Penggunaan pelampung di sisi kapal tidak akan menambah dimensi kapal karena dapat diangkat dari permukaan laut jika tidak diperlukan.



Gambar 7. Skema Sistem Generator OWC Berbasis Gyroscope
(Sumber: Agustina, et al., 2021)

Pemanfaatan Energi Panas Laut pada Kapal BARUNA

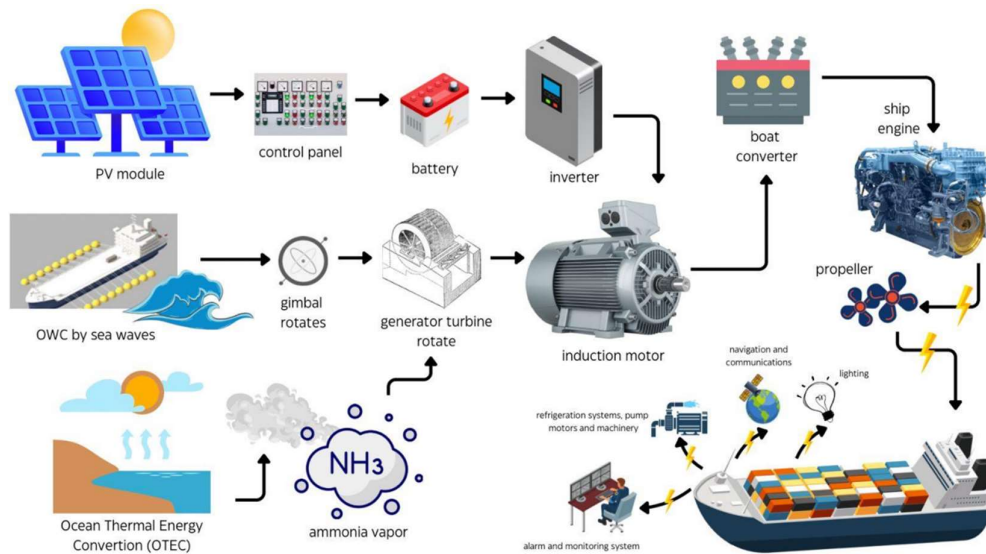


Gambar 8. Skema Sistem Generator OTEC
(Sumber: research.utm.my, 2012)

Pemanfaatan energi laut dalam hybrid energy konsep kapal BARUNA yang berikutnya ialah OTEC. Rahman (2008) dalam bukunya menjelaskan bahwa prinsip kerja OTEC hampir sama dengan siklus hidrologi di bumi. Singkatnya, OTEC memanfaatkan perbedaan temperatur antara permukaan air laut yang lebih hangat dengan air laut yang lebih dingin di dasar laut untuk menghasilkan tenaga listrik. Proses ini dimulai dengan menguapkan Ammonia atau Freon dengan memanfaatkan perbedaan temperatur tersebut. Laut menyerap panas dari matahari sehingga permukaan air laut menjadi lebih panas daripada air di dasar laut. OTEC menggunakan perbedaan temperatur minimal 77 derajat Fahrenheit (25°C) antara permukaan dan air laut dalam untuk menghasilkan listrik. Panas yang dihasilkan digunakan untuk menguapkan ammonia, sehingga tekanan uap yang terbentuk digunakan untuk memutar turbin. Uap fluida kemudian didinginkan di ruang kondensor menggunakan air laut yang lebih dingin dan kemudian air hasil pendinginan dikembalikan ke laut. Mesin pembangkitan listrik OTEC akan diletakkan di bagian bawah kapal dan terintegrasi dengan mesin kapal secara langsung. Ilustrasi sistem mesin generator OTEC yang akan diadopsi pada kapal BARUNA dapat dilihat pada Gambar 8.

Perhitungan Efisiensi Energi Kapal BARUNA

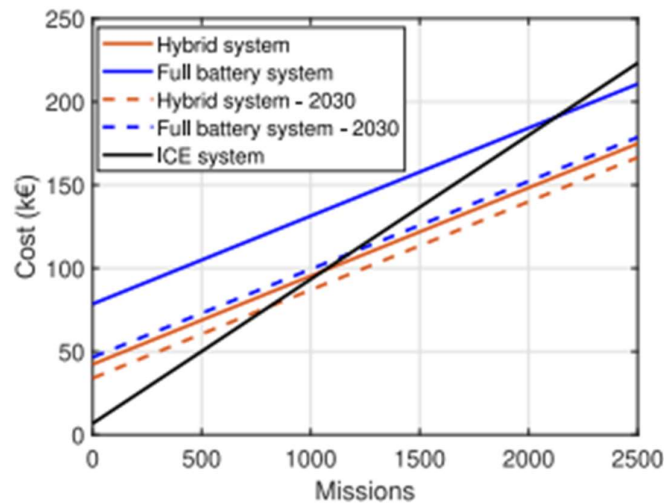
Konsep kapal BARUNA akan menggunakan renewable energy hybrid sebagai sumber listrik penggerak, sehingga tidak menghasilkan emisi atau berakibat pencemaran laut. Modul surya akan dipasang di bagian atas kapal, sementara baterai dan instalasi listriknya diletakkan di ruang mesin kapal. Pelampung penarik tenaga gelombang laut akan dipasang di sisi kanan kiri kapal ketika akan digunakan dan dapat ditarik ke dalam kapal jika sedang tidak digunakan, sementara instalasi listrik hasil konversi tenaga gelombang laut menjadi listrik akan diletakkan di ruang mesin kapal. Rangkaian mesin konversi OTEC akan dipasang di bagian bawah kapal dan terintegrasi langsung dengan ruang mesin kapal. Listrik dari ketiga sumber energi terbarukan tersebut akan terintegrasi secara langsung dengan mesin penggerak dan sistem kelistrikan kapal. Konsep kapal BARUNA dapat diterapkan semua jenis kapal, seperti kapal wisata, kapal pengangkut barang, kapal penumpang (feri), dan sebagainya, baik kapal berukuran kecil, sedang, maupun berukuran besar. Konsep hybrid energi kapal BARUNA diilustrasikan seperti pada Gambar 9.



Gambar 9. Konsep *Hybrid* Energi Terbarukan Kapal BARUNA
(Sumber: Penulis)

Dalam rangka pemodelan realisasi konsep kapal BARUNA agar siap diterapkan atau dikembangkan, maka dilakukan beberapa perhitungan efisiensi energi sebagai berikut.

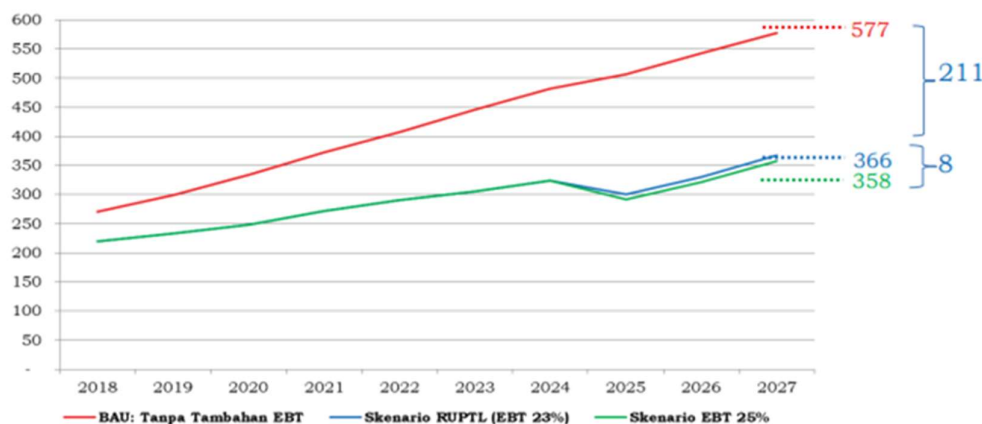
1. Pengeluaran biaya penyediaan sumber tenaga kapal



Gambar 10. Pengeluaran Biaya Sumber Tenaga Kapal (*Cost*) Berdasarkan Jarak Tempuh Kapal (*Missions*)

Berdasarkan hasil pemodelan pengeluaran biaya sumber tenaga kapal pada Gambar 9, dapat dilihat bahwa kapal dengan sumber tenaga hybrid mengeluarkan biaya yang lebih sedikit daripada sumber tenaga baterai dan sumber tidak terbarukan (ICE sistem) seperti bensin. Bahkan dari hasil pemodelan tersebut dapat dilihat prediksi hingga tahun 2030 pengeluaran biaya penyediaan sumber tenaga kapal dari hybrid energi terbarukan akan terus mengalami penurunan. Hal ini dikarenakan semakin canggih perkembangan teknologi yang akan berkembang, maka akan semakin sederhana pula teknologi yang akan diterapkan pada kapal BARUNA tanpa mengurangi fungsionalnya.

2. Perbandingan jejak emisi karbon dari sumber tenaga kapal



Gambar 11. Proyeksi Emisi Gas Rumah Kaca (GRK) Hasil Penggunaan Energi untuk Berbagai Skenario Pengembangan EBT
(Sumber: Kementerian ESDM, 2018)

Dalam RUPTL 2018-2027 menunjukkan bahwa penggunaan energi bauran dari EBT sebesar 23% dapat menurunkan emisi GRK sebesar 211 juta ton CO₂. Jika porsi EBT ditingkatkan menjadi 25%, maka emisi GRK dapat diturunkan menjadi 219 juta ton CO₂. Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan renewable energy hybrid dalam konsep kapal BARUNA dapat mengurangi emisi GRK yang cukup signifikan. Jika persentase penggunaan EBT nya terus dinaikkan maka pada akhirnya Indonesia akan mencapai Net Zero Emission di tahun 2060.

3. Pemakaian beban listrik kapal

Tabel 2. Pemakaian Beban Listrik pada Kapal Listrik BARUNA

<i>Alternate Current (AC)</i>	
Peralatan	Daya (kW)
Permesinan	18,70
Akomodasi	190,66
Penerangan, Penerangan Navigasi & Stop Kontak	37,81
<i>Direct Current (DC)</i>	
Navigasi	11,95

Berdasarkan hasil perhitungan rata-rata pemakaian beban Listrik pada kapal Listrik BARUNA yang ditunjukkan oleh Tabel 2, maka pemenuhan listrik kapal dengan hybrid energi surya dan energi laut akan mencukupi bahkan masih terdapat cadangan Listrik untuk keadaan emergency. Karena di dalam Peraturan Presiden No. 22 tahun 2017 tentang Rencana Umum Energi Nasional, besar potensi ideal gabungan antara energi surya dengan energi laut dapat menghasilkan listrik hingga 225.887 Mega Watt (MW).

KESIMPULAN

Emisi karbon dan tumpahan minyak serta zat berbahaya lain yang dikeluarkan dari hasil pembakaran mesin kapal konvensional menjadi salah satu permasalahan serius yang harus segera diselesaikan bersama. Berbagai upaya telah dilakukan pemerintah dalam membuat inovasi kapal ramah lingkungan, namun belum mampu mengatasi permasalahan tersebut, salah satunya kapal bertenaga matahari yang memiliki keterbatasan dalam menyimpan energi. Maka dari itu, Kapal BARUNA dirancang sebagai sebuah konsep kapal listrik ramah lingkungan yang memanfaatkan potensi energi matahari dan kelautan (*renewable energy hybrid*) yang sangat melimpah dan tidak akan pernah habis, sebagai upaya perwujudan SDGs poin 14.1 dan 7.b. Penerapan konsep BARUNA di Indonesia akan mendapatkan timbal balik positif yang sangat luar biasa bagi sekitar, karena kapal yang tidak menimbulkan polusi

juga akan mewujudkan infrastruktur transportasi berkembang di Indonesia. Melihat dari segi keunggulan, urgensi, futuristik, relevan dan fungsionalnya konsep ini, Kapal BARUNA akan memiliki dampak yang baik dan dapat terealisasi dengan mengoptimalkan segala kelebihan dan potensi yang dimiliki alam Indonesia dalam rangka menuju Indonesia *Net Zero Emission* 2060 di tengah era *Society* 5.0, sebuah masa depan lingkungan Indonesia yang berkelanjutan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada program studi S1 Pendidikan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Negeri Jakarta yang telah memberikan dukungan terhadap penelitian ini. Penelitian ini dilakukan tanpa hibah dana penelitian dari pihak manapun.

REFERENSI

- Agustina, S., Yusup, M., Dwijayanti, S., Otong, M., & Suprpto, B. Y. (2021). Desain Pengembangan Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut Berbasis Keseimbangan Gyroscope. *Jurnal Surya Energy*, 5(2), 50-54.
- Amin, B., Ismet, F. (2016). *Teknologi Motor Bensin*. Jakarta: Penerbit Kencana.
- Arrohman, S., & Himawanto, D. A. (2021). Peluang dan Tantangan Pengembangan Teknologi Oscillating Water Column (OWC) di Indonesia. *JETM: Jurnal Energi dan Teknologi Manufaktur*, 4(1), 37-42.
- Bakoren. (1991). *Kebijakan Umum Bidang Energi*, Edisi Kedua. Jakarta.
- Chamdareno, P. G., Nuryanto, E., & Dermawan, E. (2019). Perencanaan Sistem Pembangkit Listrik Hybrid (Panel Surya dan Diesel Generator) Pada Kapal K.M. Kelud. *RESISTOR: Elektronika Kendali Telekomunikasi Tenaga Listrik Komputer*, 2(1), 59-64.
- Chiche, A., Andruetto, C., Lagergren, C., Lindbergh, G., Stenius, I., & Peretti, L. (2021). Feasibility and impact of a Swedish fuel cell-powered rescue boat. *ELSEVIER: Ocean Engineering Journal*.
- Contoh Dapfus Aditya, F. G. (2015). Analisis Dan Perancangan Prototype Smart Home Dengan Sistem Client Server Berbasis Platform Android Melalui Komunikasi Wireless. *e-Proceeding of Engineering*, 2(2): 3070-3077.
- Darza, S. E. (2020). Dampak Pencemaran Bahan Kimia dari Perusahaan Kapal Indonesia Terhadap Ekosistem Laut. *JIMEA: Jurnal Ilmiah Manajemen, Ekonomi dan Akuntansi*, 4(3), 1831-1852.
- Devara, B. T., Aryawan, W. D., & Nasirudin, A. (2017). Desain Kapal Pembangkit Listrik Menggunakan Tenaga Gelombang Air Laut untuk Daerah Papua. *Jurnal Teknik ITS*, 6(2), G252-G256.
- Dullien, F. A. L. (1992). *Porous Media: Fluid Transport and Pore Structure*. San Diego: Academic Press.
- George B. Thomas, J. (2014). *Calculus* (Thirteenth). Boston: Pearson Education.
- Guo, X., Luo, H., Cao, S., Gao, Y. L., & Pan K. (2022). The Techno-economic Flexibility Investigation and Enhancement for The Hybrid Ocean-energy Supported Zero-energy Building and Seawater-transportation System. *ELSEVIER*, 13438-13462.
- Helfre, J. F., & Boot, P. A. C. (2013). Emission Reduction in the Shipping Industry: Regulations, Exposure and Solutions, *Sustainlytics*.
- Holyoke, J. B. Lobitz, W. C. (1952). Histologic Variations in the Structure of Human Eccrine Sweat Glands. *Journal of Investigative Dermatology*, 18(2): 147-167.
- Indonesia. (1999). Peraturan Presiden No. 19 Tahun 1999 tentang Pengendalian Pencemaran dan/atau Perusakan Laut. Presiden Republik Indonesia. Jakarta.
- Indonesia. (2017). Peraturan Presiden No. 22 Tahun 2017 tentang Rencana Umum Energi Nasional. Presiden Republik Indonesia. Jakarta.
- Kementerian ESDM. (2018). RUPTL (Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik) PT. PLN 2018-2027. Jakarta: Kementerian ESDM.
- Milles, M. B., & Huberman, A. M. (1984). *Qualitative Data Analysis*. London: Sage.
- Rahmadi, Puji. (2019). "Riset dan Konservasi Jadi Kunci Pemanfaatan Potensi Laut Indonesia". Diakses melalui <http://oceanografi.lipi.go.id/shownews/187>.
- Rahman, Y. (2008). *OTEC: Ocean Thermal Energy Conversion*. Bandung: Institut Teknologi Bandung Press.
- Research.utm.my. (2012). "Ocean Thermal Energy Conversion (OTEC)". Diakses melalui <https://research.utm.my/otec/what-is-otec-2/>.
- Saadah, A. F., Fauzi, A., & Juanda, B. (2017). Peramalan Penyediaan dan Konsumsi Bahan Bakar Minyak Indonesia. *Jurnal Ekonomi dan Pembangunan Indonesia*, 17(2), 118-137.

- Sudiyono & Antoko, B. (2008). Perencanaan dan Pembuatan Kapal Wisata dengan Motor Generator Listrik Tenaga Surya Sebagai Energi Alternatif Penggerak Propeler. *Jurnal Teknik Mesin*, 10(1), 52-62.
- Sugiyono. (2022). *Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif dan R&D*. Bandung: Alfabeta.
- Wachjoe, C. K., Zein, H., Supriyanti, Y., Gantina, T. M., Kurniasetiawati, A., & Marensaputri, P. (2020). Pengurangan Pencemaran Udara Berdasarkan Konsep Pelabuhan Hijau. *ELKOMIKA: Jurnal Teknologi Elektrik, Teknik Telekomunikasi, & Teknik Elektronika*, 8(2), 252-261.
- Wijaya, I W. A. (2010). *Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut Menggunakan Teknologi Oscillating Water Column di Perairan Bali*. Bali: UNUD.