

Perencanaan Sistem Pembangkit Listrik Hybrid Pada Kapal Penyeberangan Lintas Lembar – Padang Bai

Muhammad Alim Khairi Khalqih¹, Faisal Mahmuddin^{1,*}, Syerly Klara¹

¹*Departemen Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin, Indonesia*

*Email: f.mahmuddin@gmail.com

Abstrak

Tujuan utama dari penggunaan sistem hibrid adalah mengurangi konsumsi bahan bakar fosil dengan cara memaksimalkan penggunaan energi yang terbarukan. Sistem hibrid ini menggabungkan dua atau lebih sumber energi yang berbeda untuk memenuhi kebutuhan beban yang ada dan mengetahui kelayakan penggunaan sistem pembangkit listrik tenaga hybrid (angin – panel surya dan generator) pada kapal Ro-Ro 1500 GT. Berdasarkan metode simulasi program HOMER serta mengetahui nilai ekonomi dari penggunaan sistem pembangkit listrik tenaga hybrid pada kapal Ro-RO 1500 GT, maka dapat disimpulkan bahwa penerapan sistem pembangkit listrik hybrid cukup menguntungkan serta mendukung program ecoship dimasa yang akan datang. Pembangkit listrik tenaga hibrid yang memiliki nilai ekonomis yang terbaik adalah Pembangkit listrik tenaga hibrid yang menggunakan panel surya – turbin angin dan generator. PLTH yang menghasilkan energi listrik terbesar juga berada pada PLTH turbin angin yang menghasilkan listrik sebesar 40.242 kWh/yr.

Abstract

The main goal of using a hybrid system is to reduce the consumption of fossil fuels by maximizing the use of renewable energy. This hybrid system combines two or more different energy sources to meet the needs of the existing load and determines the feasibility of using a hybrid power generation system (wind - solar panels and generator) on a Ro-Ro 1500 GT ship. Based on the HOMER program simulation method and knowing the economic value of using a hybrid power generation system on the Ro-RO 1500 GT ship, it can be concluded that the application of a hybrid power generation system is quite profitable and supports ecoship programs in the future. Hybrid power plants that have the best economic value were hybrid power plants that use solar panels - wind turbines and generators. The PLTH that produced the largest amount of electrical energy was also the wind turbine PLTH which produces electricity of 40.242 kWh/yr.

Kata Kunci: Energi terbarukan; tenaga angin; panel surya; software HOMER; Feri Lintas Lembar- Padang Bai

1. Pendahuluan

Dengan semakin maraknya isu lingkungan termasuk di bidang maritim, Komite Perlindungan Lingkungan Kelautan (MEPC) sebagai salah satu unit di Organisasi Maritim Internasional (IMO) telah melakukan revisi terhadap Annex VI MARPOL bagi pengurangan secara bertahap kadar emisi oksida belerang (SO_x), NO_x, serta CO₂ dari kapal. Revisi Annex VI MARPOL tersebut dilakukan dalam rangka mensukseskan peraturan IMO TIER III, dimana untuk kapal dengan mesin diesel generator yang dibangun sejak 1 Januari 2016 dan sesudahnya harus memenuhi kadar emisi NO_x sebesar 3,4 g/kWh

serta untuk kapal yang dibangun sebelum tahun 2000 sebesar 17 g/kWh [1].

Bagi semua kapal yang akan memasuki wilayah perairan suatu negara, yang telah meratifikasi Annex VI MARPOL, harus memenuhi standar sesuai peraturan tersebut. Oleh karena itu, saat ini berbagai riset telah dilakukan untuk mengurangi emisi gas buang dari kapal, salah satu diantaranya adalah penggunaan sistem hybrid di kapal, seperti pada sistem pembangkit listriknya. Manfaat utama dari penggunaan sistem hybrid adalah pengurangan konsumsi bahan bakar fosil dengan cara memaksimalkan penggunaan energi yang berwawasan lingkungan ataupun peningkatan efisiensi motor bakar.

Sistem hybrid merupakan konsep penggabungan dua atau lebih sumber energi yang berbeda untuk memenuhi kebutuhan beban yang ada. Salah satu sistem pembangkit listrik hybrid yang berpotensi untuk dikembangkan di kapal yang beroperasi di Indonesia adalah kombinasi antara sel surya (Photovoltaic) dengan diesel generator. Hal ini dikarenakan letak geografis Indonesia yang berada pada daerah khatulistiwa, maka wilayah Indonesia akan selalu disinari matahari selama 10-12 jam dalam sehari. Potensi sumber energi matahari di Indonesia mencapai rata-rata 4,5 kWh per meter persegi per hari, matahari bersinar berkisar 2000 jam per tahun, sehingga Indonesia tergolong kaya sumber energi matahari [2]–[4].

Pada penelitian ini menggunakan turbin sebagai pembangkit listrik tenaga hybrid dan telah diteliti sebelumnya mengenai perencanaan optimalisasi dan manajemen dari sistem pembangkit listrik tenaga hybrid ini.

Kapal Ferry Ro – Ro Lintas Lembar - Padang Bai ini memiliki 3 generator yang digunakan dalam kapal. Untuk mengurangi emisi bahan bakar yang dihasilkan oleh kapal ini kita merencanakan sistem pembangkit listrik hybrid pada kapal ini [5].

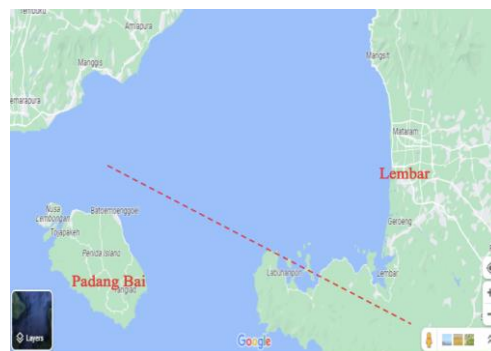
2. Metodologi

Kegiatan utama yang dilakukan pada penelitian ini adalah pengambilan dan pengolahan data. Data yang diperlukan dan dikumpulkan melalui sumber primer maupun sekunder.

Data kapal yang digunakan adalah sebagai berikut:

Rute Pelayaran	: Pelabuhan Lembar – Pelabuhan Padang Bai
Jarak Pelayaran	: 99 Seamiles
Panjang Seluruh (LOA)	: 77,78 m
Length Between	: 72,60 m
Perpendiculars (LPP)	
Lebar Kapal (B)	: 14,00 m
Tinggi Geladak (H)	: 4.60 m
Sarat Kapal (T)	: 3.30 m
Kecepatan Dinas (Vs)	: 15 knot
Kecepatan Percobaan (Vt)	: 16 knot
Daya Mesin Induk	: 2 x 1350 kW
Mesin Bantu	: 404 kW

Rute pelayaran kapal yang ditunjukkan pada Gambar 1. Rute tersebut merupakan rute pelayaran dari kapal yang akan diteliti. Pelayaran pertama mulai dari Padang Bai yang berlabuh menuju Lembar, yang kemudian kembali lagi dari Lembar berlabuh menuju Padang Bai.

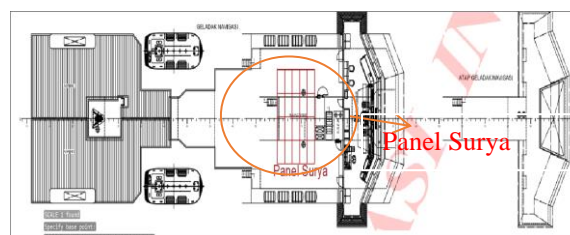


Gambar 1. Rute pelayaran Lintas Lembar – Padang Bai

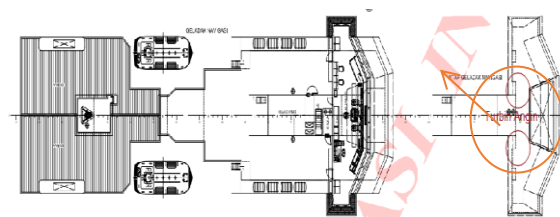
Dalam penelitian ini juga dibutuhkan data kelistrikan di kapal seperti electric balance dan wiring diagram yang ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Data electric balance

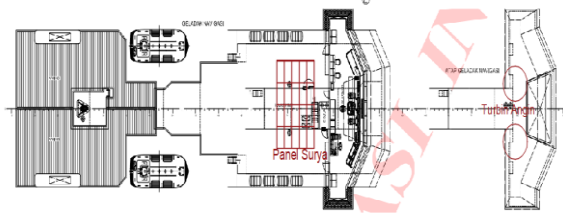
Peralatan	Jumlah	Daya (Kw)	Jumlah Kerja	LF	Continuous load (KW)
Peralatan Listrik Lampu Penerangan, Navigasi & Stop Kontak					
Kompartemen Lambung (JL-1)	1	5,81	1	0,85	4,938
Geladak Kendaraan & Antara (JL-2A)	1	2,38	1	0,85	2,023
Geladak Kendaraan & Antara (JL-2B)	1	1,49	1	0,85	1,266
Geladak Penumpang (JL3)	1	15,49	1	0,85	13,166
Geladak Navigasi	1	13,53	1	0,85	11,500
Lampu Navigasi	1	4,78	1	0,85	4,063
Lampu Emergency	1	2,5	-	-	-
Battery Charger	2	0,5	2	0,85	0,425
Total Daya					37,383



Gambar 1. 100% panel surya



Gambar 2. 100% turbin angin

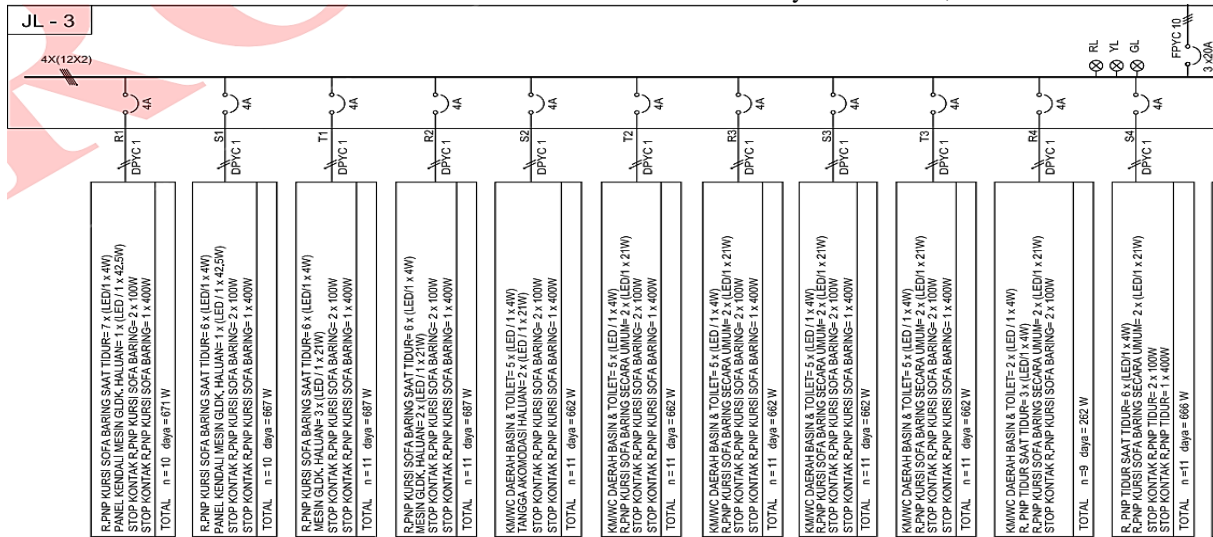


Gambar 3. 50% hibrid panel surya – 50% turbin angin

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Analisa Beban Kelistrikan Pada Kapal Ro - Ro

Berdasarkan data dari Electric Balance Kapal Ro – Ro Lintas Lembar – Padang Bai yang dapat dilihat pada Gambar 5, beban listrik yang di suplai oleh Arus AC saat keadaan berlayar sebesar 247,17 kW dan beban listrik yang di suplai oleh Arus DC saat keadaan berlayar sebesar 11,95 kW.



Gambar 4. Wiring diagram Ferry Ro - Ro

Setelah mendapat data tersebut kita bisa memvariasikan pembagian beban yang akan disuplai tetapi beban kelistrikan lainnya yang tidak dihitung tetap disuplai listrik oleh generator. Variasi pembagian beban tersebut adalah seperti 100% panel surya, 100% turbin angin, dan hibrid 50% panel surya – 50% turbin angin, juga adanya tambahan variasi pembagian beban sebesar 50% panel surya – 50% generator, 50% turbin angin – 50% generator agar kita dapat mengetahui mana pembagian beban yang paling baik digunakan dalam kapal.

Pada variasi hibrid diatas dirancang agar beban listrik dapat disuplai 50% dari panel surya dan 50% dari turbin angin untuk meringankan beban generator dengan harapan daya listrik yang dirancang disuplai 100% dari PLTH rancangan diatas.

Langkah analisis data yang dilakukan pada penelitian ini yaitu 1) Studi Literatur, 2) Studi Lapangan, 3) Menganalisis beban kelistrikan pada kapal, 4) Menganalisis radiasi matahari dan kecepatan angin pada trayek kapal, 5) Menganalisis ketersediaan panel surya dan turbin angin pada kapal, 6) Menganalisis beban kelistrikan yang akan disuplai oleh sistem pembangkit listrik hybrid, 7) Merencanakan sistem pembangkit listrik hybrid, 8) Menghitung produksi listrik dari PLTH, 9) Analisa dan pembahasan, dan 10) Kesimpulan

Peralatan yang akan disuplai beban kelistrikannya oleh PLTH adalah peralatan penerangan, penerangan navigasi & stop kontak yang memiliki arus AC yang dapat dilihat pada Tabel 2. Selain dari peralatan tersebut beban listrik akan disuplai oleh generator.

Tabel 2. Beban listrik pada kapal Ro – Ro Lintas Lembar – Padang Bai

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

3.2. Analisa Radiasi Matahari dan Kecepatan Angin

Data banyak radiasi matahari didapatkan dari RETScreen dimana data merupakan rata-rata dalam jangka 12 bulan terakhir yang ditunjukkan pada Tabel 3.

Data kecepatan angin didapatkan dari RETScreen dimana data merupakan rata-rata dalam jangka 12 bulan terakhir. Dari data pada Tabel 4 dapat ditentukan panel surya apa yang cocok untuk digunakan di daerah pelayaran dan dapat diolah lagi untuk mengetahui berapa daya yang dapat digunakan untuk panel surya pada daerah pelayaran.

Tabel 3. Hasil input radiasi matahari

Bulan	Radiasi Matahari (kWh/m ²)	Suhu Rata - Rata (C°)
Januari	4,91	28,9
Februari	4,92	28,6
Maret	5,34	28,9
April	5,52	29,0
May	5,35	28,4
Juni	4,92	27,8
Juli	4,96	27,1
Agustus	5,47	26,9
September	6,06	27,5
Oktober	6,27	28,5
November	5,76	29,2
Desember	5,33	29,1

Tabel 4. Hasil inputan kecepatan angin rata – rata

Bulan	Kecepatan Angin rata – rata (m/s)
Januari	2,9
Februari	2,9
Maret	2,5
April	2,7
May	3,3
Juni	3,6
Juli	3,9
Agustus	3,9
September	3,7
Oktober	3,3
November	2,8
Desember	2,7

3.3. Analisa Ketersediaan Energi Surya

Perhitungan luasan area yang dapat dimanfaatkan sebagai peletakan panel surya dilakukan pada kanopy awning yang mana luasannya sebesar 45.2 m² pada Gambar 6. Dengan potensi ketersediaan energi surya ini dan melalui pertimbangan panel surya yang digunakan yaitu surya SUN POWER SPR-X21-470-COM. Dengan data spesifikasi yang ditunjukkan pada Tabel 5.

Tabel 5. Spesifikasi panel surya

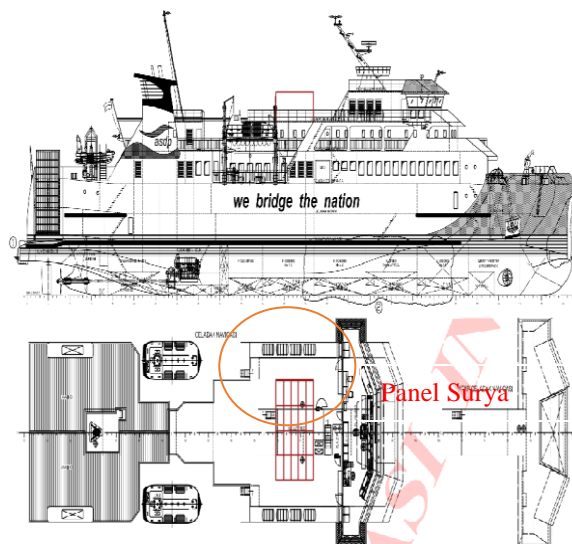
Deskripsi	Nilai
Merek	Sun Power
Model	SPR – X21 – 470 COM
Nominal Power (W)	470
Power Tolerance (%)	+5/0%
Efficiency (%)	21,7 %
Rated Voltage (V)	77,6
Rated Current (A)	6,06
Weight (Kg)	25,4
Price (IDR)	59.290.000
Dimension (mm)	2067 x 1046 x 46

Berdasarkan tabel diatas jumlah panel surya yang dapat digunakan dan diletakkan pada kanopy awning yaitu sebanyak 20 buah panel surya. Jika kita mengkalikan jumlah panel surya dengan daya yang dapat dihasilkan per satuan panel surya maka kita dapat mengetahui berapa daya yang mungkin dihasil oleh panel surya di rute pelayaran pada kapal. Hasil perhitungan tersebut dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Total daya listrik yang dihasilkan oleh panel surya

Lokasi	Jumlah Panel	Daya Panel (Watt)	Total Daya Panel (Watt/jam)
Awning			
Geladak	20	470	9400
Navigasi			

Daya maksimum yang dihasilkan panel surya yaitu sebanyak 9400 watt/jam tersinari matahari langsung. Dengan lama waktu penyinaran matahari di rute pelayaran adalah 12 jam, lama penyinaran



maksimum diasumsikan selama 5 jam per hari, maka daya total yang dapat dihasilkan adalah 47 kw per hari.

Gambar 5. Peletakan panel surya pada kapal

3.4. Analisa Ketersediaan Energi Angin

Perhitungan luasan area yang dapat dimanfaatkan sebagai peletakan turbin angin dilakukan pada atap geladak navigasi yang mana luasannya sebesar 37.97 m². Pada analisa ini dilakukan pemilihan turbin angin dengan mempertimbangkan aspek daya aktual, power coefficient (Cp), daya per luas bidang area, daya per swept area, dan rasio daya. Dari pertimbangan ini kita memilih Aelos – V5kW. Data spesifikasi turbin angin yang dianalisa tertera pada Tabel 7 dan Gambar 7.

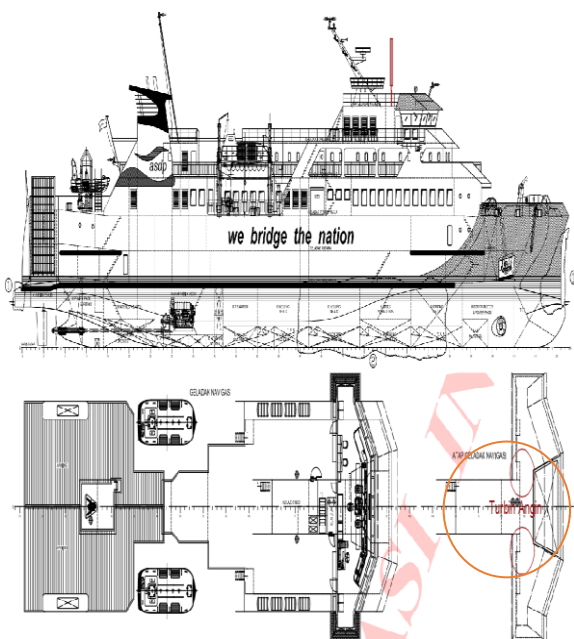
Tabel 7. Spesifikasi turbin angin

Deskripsi	Nilai
Merk	Aeolos
Model	Aeolos – V 5kW
Rated Power (kW)	5
Cut in Wind Speed (m/s)	2,5
Rated Wind Speed (m/s)	10
Survival Wind Speed (m/s)	55
Blade Quantity	3
Diameter (m)	4,2
Harga (Rp)	495.097.600,00
Berat (kg)	80

Berdasarkan tabel diatas jumlah turbin angin yang dapat digunakan dan diletakkan pada atap geladak navigasi yaitu sebanyak 2 buah turbin angin.

Tabel 8. Total daya listrik yang dihasilkan oleh turbin angin

Lokasi	Jumlah Turbin Angin	Daya Turbin Angin (Watt)	Total Daya Turbin Angin (Watt/jam)
Atap Geladak Navigasi	2	5	10000



Gambar 6. Turbin angin pada kapal

Berdasarkan Tabel 8 dapat dilihat bahwa daya maksimum turbin angin jika terkena angin sebesar 10 m/s adalah 10000 watt/jam. Kita mengharapkan kecepatan angin di daerah pelayaran ditambah dengan kecepatan kapal itu sendiri sudah dapat memenuhi kecepatan angin yang dibutuhkan turbin angin yaitu sebesar 10 m/s.

3.5. Pembagian Beban Kelistrikan yang akan Disuplai oleh Panel Surya

Dengan mempertimbangkan potensi ketersediaan energi surya dan energi angin pada Kapal Ro – Ro Lintas Lembar – Padang Bai, daya listrik yang akan disuplai dilakukan perhitungan.

Tabel 9. Daya listrik yang akan disuplai oleh panel surya

Description	Output	Qty	Power
	Kw	Pcs	Kw
Kompartemen Lambung (Jl-1)	5,81	1	5,81
Geladak Kendaraan & Antara (Jl-2a)	2,38	1	2,38
Geladak Kendaraan & Antara (Jl-2b)	1,49	1	1,49
Geladak Penumpang (Jl-3)	15,49	1	15,49
Geladak Navigasi (Jl-4)	13,53	1	13,53
Lampu Navigasi	4,78	1	4,78
Lampu Emergency	2,50	1	2,50
Battery Charger	0,50	2	1,00

Berdasarkan Tabel 9 load genset, total kebutuhan daya peralatan tersebut kita mendapatkan total 29,02 kW, nilai tersebut didapatkan dari menambahkan daya yang akan dirancang yaitu geladak penumpang dan geladak navigasi. Daya tersebut akan disuplai selama kapal berlayar.

3.6. Perencanaan Sistem Pembangkit Listrik Hibrid

Perencanaan ini dilakukan dengan merangkai komponen yang akan digunakan di dalam HOMER (HOMER PRO) serta data – data lain yang diperlukan dalam simulasi [6].

• Pemilihan Baterai

Dalam optimasi perencanaan sistem pembangkit listrik tenaga hybrid berdasarkan simulasi, maka dipilih lithium battery sebagai Energy Storage System (ESS), spesifikasinya ditunjukkan pada Tabel 10. Dari data di atas dapat diketahui persentase perbandingan antara data pengukuran dan data perbandingan sebesar 2.25%.

Tabel 10. Spesifikasi baterai

Deskripsi	Nilai
Merk	LG Chem
Model	RESU 3.3
Total Energy (kWh)	3,3
Usable Energy (kWh)	2,9
Capacity (Ah)	63
Nominal Voltage (V)	51,8
Voltage Range (V)	42-58,8
Weight (Kg)	31
Price (IDR)	38.236.066,43
Dimension (mm)	452 x 403 x 120

Maka dapat ditentukan jumlah minimal baterai sebagai berikut :

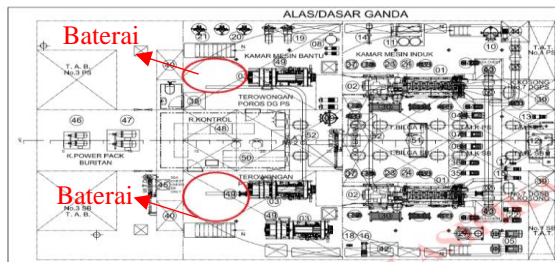
$$\text{Jumlah baterai} = \frac{\text{daya yang akan disuplai}}{\text{daya baterai}}$$

$$\text{Jumlah baterai} = \frac{29,02}{2,9}$$

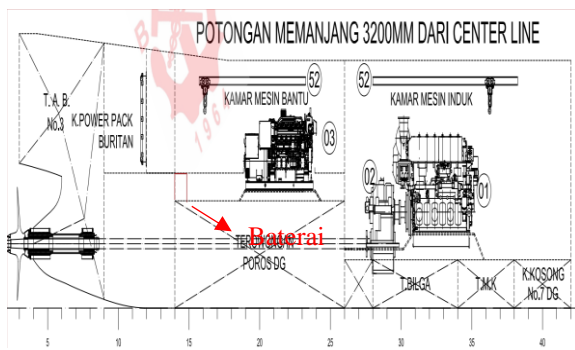
$$\text{Jumlah baterai} = 10,006 \text{ baterai}$$

$$\text{Jumlah baterai} = 10 \text{ baterai}$$

Memperhitungkan ketersediaan ruang pada kamar mesin yang tersedia adalah seluas 30,77 m² juga memperhitungkan kebutuhan daya sebanyak 29,02 kW selama waktu pelayaran yaitu sebanyak 10 battery dapat dilihat pada Gambar 8 dan 9.



Gambar 7. Peletakan baterai tampak atas



Gambar 8. Peletakan baterai tampak samping

- **Pemilihan Inverter :**
Adapun jumlah inverter yang digunakan adalah dengan spesifikasi yang dapat dilihat pada Tabel 11.

Tabel 11. Spesifikasi inverter

Deskripsi	Nilai
Merek	LG Chem
Model	SMA America SB7.0-1SP-US-40
Nominal AC (kVa)	7
Output Power (Va)	208-240
Nominal AC (Va)	183-229
Output Power (V)	60 Hz / 50 Hz
AC GRID FREQUENCY	
MAXIMUM AC OUTPUT CURRENT	29,2A@240V;32A@208V
MAX EFFICIENCY (%)	97,2
CEC EFFICIENCY (%)	96,5
Dimension (mm)	535,94 x 723,94 x 198,12

3.7. Simulasi Model Sistem Pembangkit Listrik Hibrid Menggunakan Software HOMER

HOMER merupakan suatu program simulasi untuk mengoptimalkan sistem pembangkit listrik baik stand alone (off grid) maupun grid connected yang dapat terdiri dari kombinasi pembangkit listrik konvensional dan kombinasi pembangkit sumber energi terbarukan, battery bank, bidirectional converter serta untuk melayani beban listrik maupun thermal. Selain itu software HOMER juga berfungsi untuk mempermudah dalam merancang, menganalisa, serta mengevaluasi disain sistem pembangkit listrik. Software ini melakukan perhitungan keseimbangan energi untuk setiap konfigurasi sistem yang akan dipertimbangkan [7].

- **Input Radiasi Matahari**

HOMER mempunyai alat yang dapat memberikan data radiasi matahari berdasarkan titik koordinat yang ditentukan dalam hal ini yaitu titik tengah rute pelayaran [8]. Berdasarkan data yang ada pada Gambar 10 wilayah pelayaran kapal sangat baik untuk pengaplikasian panel surya dengan besar rata-rata tiap tahunnya 5,34 kW/m²/d dan disimpulkan cukup layak untuk diterapkan [9].



Gambar 9. Input intensitas matahari

- **Input Kecepatan Angin**



Gambar 10. Input kecepatan angin

Berdasarkan data yang ditunjukkan oleh HOMER dapat dilihat bahwa kecepatan angin tahunan yaitu sebesar 7,5 m/s, kecepatan tersebut sudah cukup untuk menggerakkan turbin angin dan disimpulkan layak untuk diterapkan [10], [11].

• Input Beban Harian

Data beban harian diperlukan untuk mengetahui beban apa saja yang akan disuplai oleh sistem hybrid. Data yang dimasukkan yaitu data beban harian yang dapat dilihat sebesar 29,02 kW/waktu berlayar maka didapatkan 7.255 kWh. Tampilan input pada HOMER ditunjukkan pada Gambar 12.

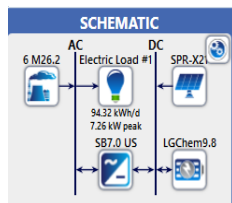


Gambar 11. Tampilan input beban harian

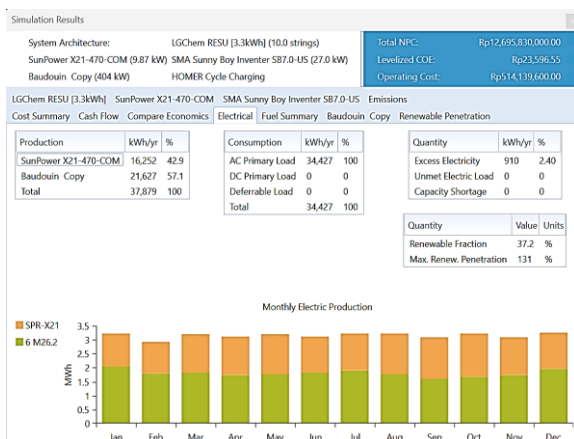
3.8. Hasil Simulasi

Pada penelitian ini dilakukan lima jenis simulasi yang berbeda untuk mendapatkan hasil optimasi dari setiap komponen dapat mencapai titik optimal

• Simulasi Pertama



Gambar 12. Skematik PLTH (panel surya – generator)



Gambar 13. Hasil produksi PLTH (panel surya – generator)

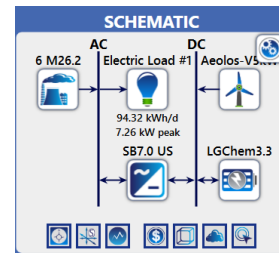
Tabel 12. Hasil simulasi pertama (100% panel surya)

Pembangkit	Daya Panel (kw)	Daya Generator (kw)	Jumlah Baterai	NPC Rp	COE Rp
PLTD	-	404	10	45.4M	84.301
PLTH	9,87	404	10	12.7M	23.597

Kita dapat melihat bahwa listrik yang diproduksi tahunannya sebesar 51.493 kWh/yr. Turbin angin memproduksi sebesar 40.242 kWh/yr atau setara dengan 78,2% dari listrik total yang dihasilkan ditunjukkan pada Gambar 13-14 dan Tabel 12.

• Simulasi Kedua

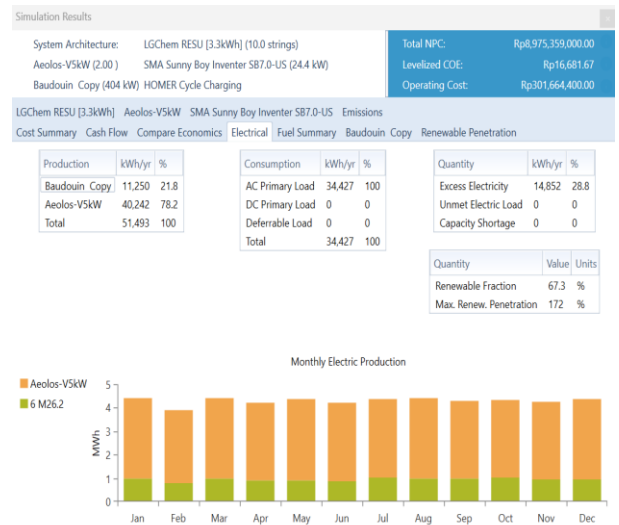
Rancangan simulasi pertama ditunjukkan.. Dimana beban listrik akan disuplai oleh dua buah turbin angin untuk menghasilkan listrik sebesar 10 kW dan generator. Dan hasil simulasi 2 yang mencakup seluruh biaya kelayakan ditunjukkan. Serta hasil produksi listrik tahunan yang ditunjukkan pada Gambar 15-16 dan Tabel 13.



Gambar 14. Skematik PLTH (tenaga angin – generator)

Tabel 13. Hasil simulasi kedua (100% turbin angin)

Pembangkit	Jumlah Turbin	Daya Generator (kw)	Jumlah Baterai	NPC Rp	COE Rp
PLTD	-	404	10	45.4M	84.301
PLTH	2	404	10	8.9M	16.682

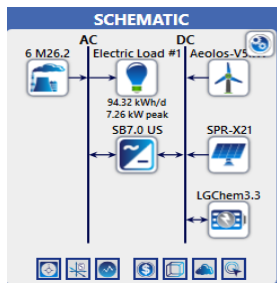


Gambar 15. Hasil Produksi PLTH (turbin angin – generator)

Kita dapat melihat bahwa listrik yang diproduksi tahunannya sebesar 51.493 kWh/yr. Turbin angin memproduksi sebesar 40.242 kWh/yr atau setara dengan 78,2% dari listrik total yang dihasilkan.

• Simulasi Ketiga

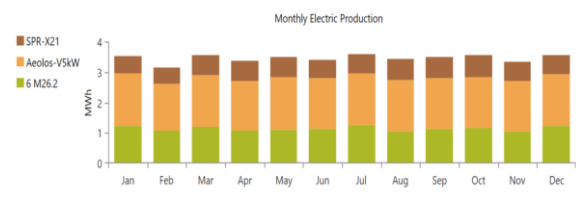
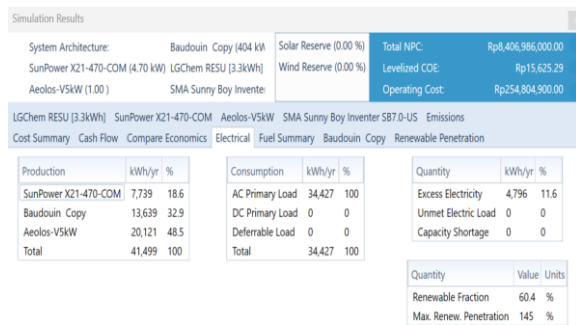
Pada simulasi ketiga ini kita membandingkan PLTD dengan PLTH (angin – panel surya, dan diesel generator) [12], [13]. Pada simulasi ini kita memperhatikan bagaimana pembagian listrik dari yang akan disuplai oleh PLTH, Untuk pembagian ini kita berusaha mengoptimalkan pembagian listrik akan disuplai oleh panel surya dan sisanya akan disuplai oleh turbin angin. Rancangan simulasi ketiga ditunjukkan. Dan hasil simulasi 3 yang mencakup seluruh biaya kelayakan serta hasil produksi listrik tahunan yang ditunjukkan pada Gambar 17-18 dan Tabel 14.



Gambar 16. Skematik PLTH (Angin – Panel Surya dan Generator)

Tabel 14. Hasil simulasi ketiga (hibrid panel surya dan turbin angin)

Pembangkit	Daya Panel (kw)	Jumlah Turbin	Daya Generator (kw)	Jumlah Baterai	NPC Rp	COE Rp
PLTD	-	-	404	10	45.4M	84.301
PLTH	4,70	1	404	10	8.40M	15.625

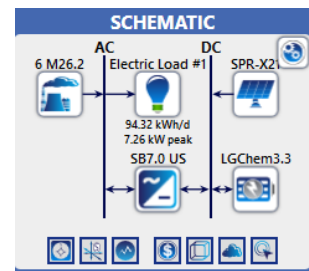


Gambar 17. Hasil produksi listrik PLTH (turbin angin – panel surya dan generator)

Kita dapat melihat bahwa listrik yang dihasilkan tiap tahunnya oleh PLTH sebesar 41.499 kWh/yr. Panel surya menghasilkan 7.739 atau setara dengan 18,6% dari produksi listrik total dan turbin angin menghasilkan sebesar 20.121 kWh/yr atau setara dengan 48.5% dari produksi total listrik.

• Simulasi Keempat

Pada simulasi keempat ini kita mencoba variasi pembagian beban listrik yaitu 50% disuplai oleh panel surya dan sisanya disuplai oleh generator. Rancangan simulasi ketiga ditunjukkan dan hasil simulasi 4 yang mencakup seluruh biaya kelayakan ditunjukkan serta hasil produksi listrik tahunan yang ditunjukkan Gambar 19-20 dan Tabel 15.



Gambar 18. Simulasi keempat (50% panel surya – 50% generator)

Tabel 15. Hasil simulasi keempat (50% panel surya – 50% generator)

Pembangkit	Daya Panel (kw)	Daya Generator (kw)	Jumlah Baterai	NPC Rp	COE Rp
PLTD	-	404	10	45.4M	84.301
PLTH	4,7	404	10	10.1M	18.799

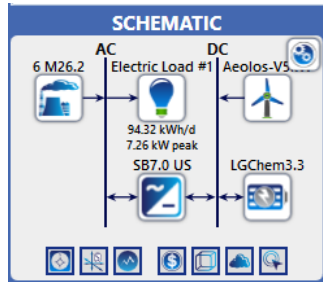


Gambar 19. Hasil produksi listrik PLTH simulasi keempat

Kita dapat melihat bahwa listrik yang dihasilkan tiap tahunnya oleh PLTH sebesar 39,240 kWh/yr. Panel surya menghasilkan 7.739 atau setara dengan 19,7% dari produksi listrik total.

• Simulasi Kelima

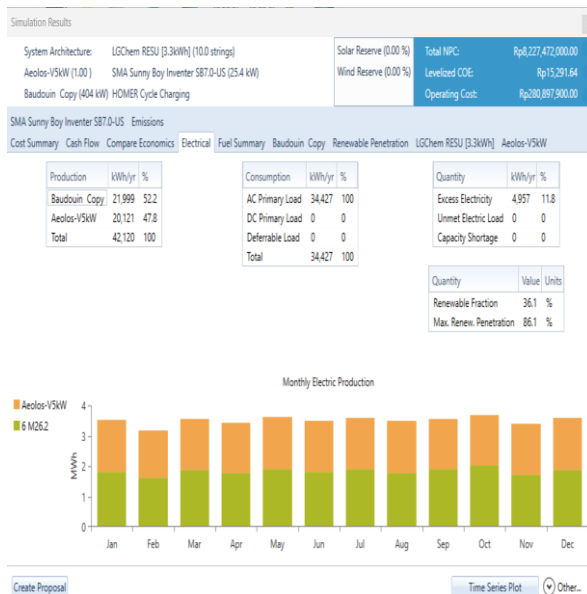
Pada simulasi kelima ini kita memvariasikan pembagian beban listrik yaitu 50% turbin angin dan 50% generator. Rancangan simulasi ketiga ditunjukkan Dan hasil simulasi 5 yang mencakup seluruh biaya kelayakan ditunjukkan. Serta hasil produksi listrik tahunan yang ditunjukkan Gambar 21-22 dan Tabel 16.



Gambar 20. Skematik simulasi kelima

Tabel 16. Hasil simulasi kelima

Pembangkit	Jumlah Turbin	Daya Generator (kw)	Jumlah Baterai	NPC Rp	COE Rp
PLTD	-	404	10	45.4M	84.301
PLTH	1	404	10	8.2M	15.291



Gambar 21. Hasil produksi listrik simulasi kelima

Kita bisa melihat bahwa hasil produksi PLTH tersebut yaitu turbin angin sebesar 20.121 kWh/yr atau sebesar 47,8% dari total produksi listrik yang dihasilkan keseluruhan. Generator menghasilkan sebesar 20.121 kWh/yr atau sebesar 52.2%.

3.9. Perbandingan Hasil Simulasi

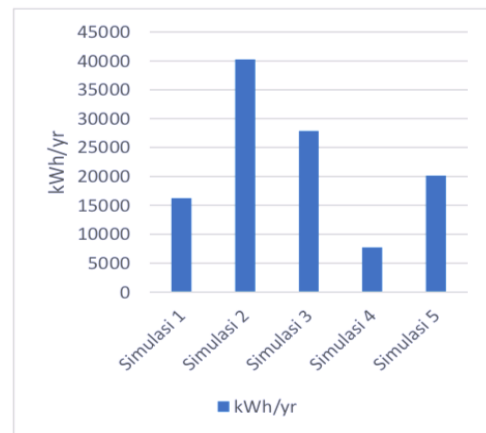
Pada bagian ini kita akan membandingkan hasil simulasi agar kita dapat menentukan PLTH apa yang paling cocok untuk di pasang pada kapal ferry RO –

RO ini. Hasil perbandingan dapat dilihat dalam tabel yang tertera dibawah ini. Pada tabel ini kita dapat melihat mana sistem yang menghasilkan daya terbesar mana yang menghasilkan daya terkecil, juga kita dapat melihat mana COE terkecil dan terbesar pada Tabel 17.

Tabel 17. Tabulasi hasil simulasi

NO	Simulasi	Hasil Produksi Listrik (kWh/yr)	NPC (Rp)	COE (Rp)
1	PLTH (100% Panel Surya – Generator)	16.252	12.4 M	23.597
2	PLTH (100% Turbin Angin – Generator)	40.242	8.9 M	16.682
3	PLTH (Panel Surya – Turbin Angin Generator)	27.860	8.4 M	15.625
4	PLTH (50% Panel Surya – Generator)	7.739	10 M	18.637
5	PLTH (50% Turbin Angin – Generator)	20.121	8.41 M	15.630

Dapat kita lihat bahwa produksi listrik terbesar dapat dilihat bahwa simulasi 2 memiliki produksi listrik terbesar yaitu 40.242 kWh/yr dan produksi listrik terkecil berada pada simulasi 4 yaitu sebesar 7.739 kWh/yr. Untuk melihat perbandingan lebih jelas dipaparkan pada Gambar 23.



Gambar 23. Perbandingan produksi listrik PLTH

Pada bagian ini kita membandingkan hasil produksi listrik tiap simulasi untuk mengetahui PLTH mana yang memiliki produksi listrik terbanyak.

Kita dapat melihat bahwa simulasi yang memproduksi listrik terbanyak adalah simulasi 2 yang dapat memproduksi listrik 40.242 kWh/yr dan simulasi yang memproduksi listrik paling sedikit adalah simulasi ke 4 sebesar 7.739 kWh/yr.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil simulasi, pemasangan PLTH pada Kapal Ferry Ro – Ro Lintas Lembar – Padang

Bai adalah PLTH (Turbin Angin – Generator) yang menghasilkan energi listrik sebesar 40.242 kWh/yr. Berdasarkan hasil analisis teknis dan ekonomis diatas, maka dapat disimpulkan bahwa penerapan sistem pembangkit listrik hybrid cukup menguntungkan serta mendukung program ecoship dimasa yang akan datang. Pembangkit listrik tenaga hibrid yang memiliki nilai ekonomis yang terbaik adalah Pembangkit listrik tenaga hibrid yang menggunakan panel surya – turbin angin dan generator

Referensi

- [1] W. H, “Feasibility of IMO Annex VI Tier III implementation using Selective Catalytic Reduction,” *Int. Counc. Clean Transp.*, pp. 1–9, 2014.
- [2] Kementerian ESDM, 2010. Accessed: Sep. 06, 2022. [Online]. Available: esdm.go.id
- [3] M. R. Fachri and H. Hendrayana, “Analisa Potensi Energi Angin dengan Distribusi Weibull Untuk Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) Banda Aceh,” *CIRCUIT J. Ilm. Pendidik. Tek. Elektro*, vol. 1, no. 1, 2017.
- [4] K. D. Negeri, *Buku Panduan Energi Yang Terbarukan*. 2016.
- [5] S. Saodah and N. Hariyanto, “Perancangan sistem pembangkit listrik hybrid dengan kapasitas 3 kva,” in *Proceedings of National Colloquium Research and Community Service*, 2019, pp. 187–190.
- [6] K. Kunaifi, “Program homer untuk studi kelayakan pembangkit listrik hibrida di propinsi riau,” *Semin. Nas. Inform.*, vol. 1, no. 2, 2015.
- [7] Homer Energy, 2022. Accessed: Sep. 15, 2022. [Online]. Available: www.homerenergy.com
- [8] F. P. A. Ma’arif, “Simulasi Paralel Generator Secara Otomatis pada Kapal STAR-50 BSBC 50,000 DWT dengan Menggunakan Pendekatan Software LabVIEW 8.5,” Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2011.
- [9] S. Velina, “Perencanaan Optimalisasi dan Manajemen Sistem Pembangkit Listrik Hybrid (Sel Surya dan Diesel Generator) Pada Bus Air Roro,” Universitas Hasanuddin, 2022.
- [10] A. Mustofa, “Optimalisasi Perencanaan Dan Manajemen Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid Diesel Generator-Photovoltaic Pada Perancangan Kapal Tanker 1700 Dwt Berpenggerak Motor Induksi Tiga Fasa,” Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2018.
- [11] B. Pranoto, D. G. Cendrawati, N. W. Hesty, and E. Kusriadi, “Evaluasi pemetaan potensi energi surya berbasis model wrf di desa palihan dan desa aikangkung,” *J. Sains Dirgant.*, vol. 15, no. 2, pp. 63–72, 2018.
- [12] D. P. Putri and E. S. Koenhardono, “Perencanaan sistem pembangkit listrik hybrid (sel surya dan diesel generator) pada kapal tanker,” *J. Tek. ITS*, vol. 5, no. 2, pp. B394--B399, 2016.
- [13] G. E. Rumaropen and N. Hariyanto, “Rancang Bangun Sistem Pengaturan Suplai Energi Listrik Pembangkit Hibrida antara PLTS dan Generator 1.000 VA Menggunakan Arduino Uno,” in *Prosiding Diseminasi FTI*, 2021, pp. 1–12.