

STUDI PRENCANAAN SISTEM PEMBANGKIT LISTRIK HYBRID (PANEL SURYA DAN DIESEL GENERATOR) PADA KAPAL NELAYAN DI PELABUHAN PERIKANAN SAMUDERA (PPS) BELAWAN

Raja Harahap, Sadrah Siahaan

Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Sumatera Utara,
Medan 20155, Sumatera Utara, Indonesia

harahapjr@yahoo.com; sadrakhsiahaan12@gmail.com

Abstrak

Sebagai negara kepulauan terbesar, luas laut Indonesia mencapai 70 % dari total luas Negara Indonesia. Dengan luas laut yang begitu besar seharusnya dimanfaatkan sebagai salah satu sumber ekonomi utama masyarakat Indonesia, Berdasarkan fakta di lapangan diketahui permasalahan utama nelayan adalah tingginya biaya operasional bahan bakar minyak (BBM) yang dibutuhkan ketika pergi melaut, sementara hasil tangkapan ikan yang didapat tidak pasti. Selain itu energi menjadi salah satu isu yang dihadapi oleh Indonesia saat ini bahkan dunia, karena ketidakseimbangan antara ketersediaan energi dengan kebutuhannya. Isu lainnya adalah pemanasan global, dimana Indonesia dalam KTT Perubahan Iklim di Paris, Perancis tahun 2015 lalu (COP21) telah berkomitmen untuk menurunkan emisi bersama dengan negara-negara lainnya. Potensi pemanfaatan energi baru dan terbarukan untuk pembangkit listrik pada kapal sangatlah menjanjikan. Berdasarkan hasil analisis yang dilakukan, total produksi listrik yang dihasilkan pada sistem hybrid PLTS-PLTD pertahun sebesar 5.064 kWh/tahun. Dimana kontribusi produksi energi listrik PLTS terhadap sistem PLTH sebesar 65,5 % atau 3.319 kWh/tahun. Sedangkan PLTD sebesar 34,5 % atau 1.745 kWh/tahun. Kelebihan energinya selama setahun sebesar 775 kWh/tahun. Konsumsi bahan bakar pada sistem ini sebesar 834 L/tahun dengan persentase penurunan sebesar 67 %. Dengan studi perencanaan sistem pembangkit listrik hybrid (PV dan diesel generator) menggunakan software HOMER ini bertujuan untuk menghemat bahan bakar dan gas buang emisi pada kapal ikan milik nelayan di Pelabuhan Perikanan Samudera (PPS) Belawan.

Kata-Kata Kunci : Energi Terbarukan, Pembangkit Listrik Tenaga Hibrida, Net Present Cost, Perencanaan

I. Pendahuluan

Indonesia memiliki luas 5.193.250 km² dan merupakan salah satu Negara terluas di dunia. Sebagai negara kepulauan terbesar, luas laut Indonesia mencapai 70% dari total luas Negara Indonesia. Dengan luas laut yang begitu besar seharusnya dimanfaatkan sebagai salah satu sumber ekonomi utama masyarakat Indonesia. Energi menjadi salah satu isu yang dihadapi oleh Indonesia saat ini bahkan dunia, karena ketidakseimbangan antara ketersediaan energi dengan kebutuhannya. Penggunaan bahan bakar fosil sebagai sumber energi saat ini masih menjadi prioritas utama. Akibatnya, kondisi ketersediaan bahan bakar fosil didalam perut bumi akan menjadi semakin cepat menipis dan berdampak langsung padamasyarakat karena mengalami kelonjakan harga setiap tahunnya [5].

Untuk mengurangi penggunaan BBM, maka sistem pembangkit listrik hybrid (sel surya dan diesel generator) merupakan salah satu alternatif solusi daridampak negatif sistem pembangkit konvensional pada kapal – kapal di Indonesia, khususnya kapal nelayan. Solusi yang ditawarkan adalah pemanfaatan energi matahari yang ramah lingkungan sebagai sumber tenaga untuk kebutuhan listrik kapal menggantikan BBM.

Pembangkit listrik hibrida adalah sistem pembangkit listrik yang menggunakan sumber energi yang berbeda untuk beban yang sama.

Tujuan dari pembangkit listrik hibrida adalah untuk menjamin ketersediaan sumber energi listrik sehingga produksi listrik dapat dilakukan terus menerus apabila salah satu pembangkitnya tidak mampu memproduksi atau memenuhi kebutuhan energi listrik. Dari sisi lain, dengan menggunakan sistem hibrida ini juga akan lebih efisien dan ekonomis [6].

Pada penelitian ini akan dilakukan simulasi perencanaan pembangkit hibrida fotovoltaiik dengan diesel generator yang akan digunakan sebagai sumber energi listrik pada kapal nelayan yang berada di Pelabuhan Perikanan Samudera Belawan, Bagan Deli, Medan Kota Belawan, Kota Medan, Sumatera Utara.

Proses analisis dari perencanaan ini akan menggunakan software HOMER (Hybrid Optimization Model for Electric Renewables) untuk melakukan pemodelan, simulasi dan optimalisasi sistem pembangkit listrik tenaga kecil (*micropower*) berdasarkan energi terbarukan. Software ini mampu mendesain sistem dan mensimulasikan sistem serta menentukan konfigurasi sistem terbaik. Selain itu, software ini mampu melakukan perhitungan matematis mengenai biayamodal, penggantian, operasi dan pemeliharaan, bahan bakar, dan bunga darisistem pembangkit listrik tenaga hybrid.

II. Tinjauan Pustaka

2.1 Panel Surya

Photovoltaic (PV) atau biasa disebut panel surya adalah alat yang terdiri dari sel surya yang berfungsi untuk mengubah radiasi cahaya matahari (irradiance) menjadi energi listrik. Sel PV merupakan sebuah semikonduktor yang terdiri dari diode p-n junction, dimana ketika terkena cahaya matahari (foton) akan menghasilkan energi listrik, proses perubahan ini disebut photoelectric. Hal yang mempengaruhi besarnya daya yang dihasilkan oleh PV yaitu irradiance dan temperature dari modul PV itu sendiri. Pada sel photovoltaic terdapat junction antara dua lapisan antara dua lapisan tipis yang terbuat dari semikonduktor yang masing-masing merupakan semikonduktor tipe-n sebagai electron (muatan negatif), dan semikonduktor tipe-p sebagai hole (muatan positif).

Daya yang dihasilkan panel surya berbanding lurus dengan besar intensitas cahaya matahari. Semakin besar intensitas cahaya matahari yang di terima panel surya maka daya yang di hasilkan panel surya semakin besar. Jika luas sel surya adalah (A) dengan intensitas (J) tertentu, maka daya input sel surya (Pin) dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 1.

$$P_{in} = J \times A \dots \dots \dots (1)$$

Keterangan :

P_{in} : Daya masukan yang diterima dari cahaya matahari (Watt)

J : Intensitas Matahari (W/m²)

A : Luas permukaan panel surya (m²)

2.2 Solar Charge Controller

Solar Charge controller berfungsi memastikan agar baterai tidak mengalami kelebihan pelepasan muatan (*over discharge*) atau kelebihan pengisian muatan (*over charge*) yang dapat mengurangi umur baterai. Solar Charge controller mampu menjaga tegangan dan arus keluar masuk baterai sesuai kondisi baterai.



Gambar 1. Solar Charge Controller

2.3 Inverter

Inverter adalah jantung dalam sistem suatu PLTS. Inverter berfungsi mengubah arus searah

(DC) yang dihasilkan oleh panel surya menjadi arus bolak-balik (AC).



Gambar 2. Inverter

Tegangan output yang paling banyak digunakan konverter adalah 220V 50Hz agar mudah diselaraskan dengan jaringan grid PLN. Pemilihan jenis inverter dalam merencanakan PLTS disesuaikan dengan desain PLTS yang akan dibuat. Inverter pada sistem PLTS hybrid lebih populer disebut *bidirectional inverter*.

2.4 Baterai

Energi listrik yang dihasilkan PLTS sangat tergantung pada kecukupan energi matahari yang diterima panel surya. Diperlukan media penyimpanan energi sementara bila sewaktu-waktu panel tidak mendapatkan cukup sinar matahari atau untuk penggunaan listrik malam hari. Baterai harus ada pada sistem PLTS terutama tipe Off-Grid.

2.5 Generator

Generator adalah mesin listrik yang merubah energi mekanik menjadi energi listrik dengan menggunakan prinsip induksi magnet. Yang dimaksud dengan prinsip induksi magnet adalah saat sebuah konduktor digerakkan pada medan magnet sehingga gerakan konduktor memotong flux magnetik, maka pada konduktor akan timbul tegangan. Generator dapat dibedakan menjadi 2 yaitu generator DC (*Direct Current*) dan generator AC (*Alternating Current*) atau disebut juga alternator.

Prinsip kerja generator adalah melalui pergerakan medan magnet yang ada di rotor terhadap kumparan tetap yang terdapat di stator. Pada dasarnya generator listrik mempunyai dua macam jenis yaitu generator listrik DC dan generator listrik AC, namun di dalam pembangkitan kebanyakan menggunakan generator listrik AC. Prinsip kerja generator AC tiga fasa (*alternator*) pada dasarnya sama dengan generator arus bolak-balik satu fasa, akan tetapi pada generator tiga fasa mempunyai tiga lilitan yang sama dan tiga tegangan output yang berbeda fasa 120° pada masing-masing fasa.

2.6. Sistem Distribusi Listrik pada Kapal

Sistem distribusi adalah energi listrik yang dihasilkan oleh generator yang kemudian didistribusikan ke berbagai beban pada kapal, antara lain yaitu penerangan, peralatan navigasi, motor-motor dan alat-alat yang membutuhkan suplai listrik pada kapal. Energi listrik tersebut disalurkan melalui *Main Switch Board* (MSB), kemudian

didistribusikan melalui kawat penghantar (kabel) kepanel-panel distribusi dan sub distribusi, dan kemudian ke beban. Circuit breakers and switches adalah untuk pengontrolan aliran arus listrik, sedangkan fuses dan relay adalah untuk perlindungan terhadap system distribusi dari pengaruh yang merusak akibat kesalahan arus yang besar.

2.7 Software HOMER (Hybrid Optimization Model for Electric Renewable)

HOMER (*Hybrid Optimization Model for Electric Renewable*) merupakan sebuah perangkat lunak yang dikembangkan oleh *National Renewable Energy Laboratory* (NREL) USA pada tahun 1993. HOMER bisa digunakan untuk menyimulasikan, mengoptimalkan, dan menganalisis sistem pembangkit tenaga listrik yang telah didesain menggunakan energi terbarukan baik secara on grid atau off grid, sehingga dengan memasukkan konfigurasi yang tepat maka bisa didapatkan sebuah sistem yang optimal.

Perangkat Lunak HOMER dapat merancang desain pembangkit listrik untuk berbagai jenis pembangkit listrik baik skala kecil maupun besar yang terhubung ke jaringan listrik (*On Grid*) atau tidak (*Off Grid*). HOMER menghitung energi untuk setiap konfigurasi sistem yang akan diubah. Kemudian menentukan pengaturan yang layak, dapat memenuhi kebutuhan listrik sesuai persyaratan yang ditentukan, perkiraan biaya modal, penggantian, operasi dan pemeliharaan, bahan bakar, dan bunga yang di analisis dengan mempertimbangkan sistem kontrol atau dispatch yang tersedia pada HOMER.

Terdapat beberapa jenis dispatch pada HOMER, diantaranya adalah Load Following (LF), Cycle Charging (CC), dan HOMER Combined Dispatch (CD). Pada saat beban rendah akan menggunakan sistem Cycle Charging (CC) dan saat beban tinggi akan menggunakan sistem Load Following (LF).

2.8 Aspek Studi Kelayakan Proyek

Terdapat beberapa Aspek yang dikaji pada studi kelayakan/perencanaan suatu proyek, antara lain sebagai berikut.

1. Aspek Teknis

Beberapa hal yang perlu dipelajari dalam pengkajian aspek teknis suatu pembangkit listrik hibrida, yaitu:

- a. Lokasi Pembangkit Hibrida (Cahaya Matahari dan Diesel Generator) akan didirikan.
- b. Kriteria pemilihan komponen utama Pembangkit Listrik Tenaga Hibrida (cahaya matahari dan diesel generator).

2. Aspek Finansial

Beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam pengkajian aspek finansial atau keuangan suatu proyek, yaitu:

- a. Menyusun prakiraan pengeluaran biaya pada proyek tersebut.

- b. Melakukan analisa finansial, untuk mengetahui jangka waktu pengembalian investasi.

Metode analisa finansial yang akan dilakukan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Metode *Payback Period* (PP)

Payback Period merupakan metode yang digunakan untuk mengetahui waktu yang diperlukan untuk mengembalikan biaya yang dikeluarkan dalam membangun sebuah proyek. Dapat dilihat pada Persamaan 2.

$$Payback\ period = \frac{biaya\ investasi}{pendapatan\ per\ tahun} \dots (2)$$

Proyek dikatakan layak jika waktu pengembalian modal kurang dari waktu perancangan proyek. Jika pengembalian modal lebih dari waktu perancangan proyek, maka proyek tersebut tidak layak untuk dibangun [12]. Sebelum mengetahui nilai *payback period* terlebih dahulu mengetahui nilai pendapatan dari penjualan energi listrik dalam setahun. Pendapatan penjualan energi listrik dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 3.

$$Pendapatan\ per\ tahun = total\ produksi\ energi\ x\ harga\ jual \dots (3)$$

- Keterangan :
- Payback period : Waktu penembalian Modal (tahun)
- Biaya Investasi : Modal yang dikeluarkan (Rp)
- Pendapatan/tahun : Pemasukan yang diperoleh per tahun (Rp)
- Total Produksi Energi : Energi listrik yang diproduksi pembangkit per tahun (Rp)
- Harga Jual : Biaya yang dikeluarkan per kWh (Rp)

2. Metode *Net Present Cost* (NPC)

Net Present Cost yaitu biaya total yang akan digunakan selama masa pemasangan ataupun pengoperasian komponen sepanjang proyek berjalan. dapat dilihat pada persamaan Persamaan 4.

$$NPC = Capital\ costs + Replacement\ costs + O\&M\ costs + Fuel\ costs - Salvage \dots (4)$$

- Keterangan :
- Capital costs : Biaya modal komponen (Rp)
- Replacement costs : Biaya pergantian komponen (Rp)
- O&M Costs : Biaya operasional dan perawatan (Rp)
- Fuel costs : Biaya bahan bakar (Rp)
- Salvage : Biaya yang tersisa pada komponen (Rp)

3. Total Produksi Energi

Parameter ini digunakan untuk mengetahui jumlah energi listrik yang dihasilkan dari sistem energi terbarukan (hybrid) sepanjang sistem beroperasi. dapat dilihat pada Persamaan 5.

$$E_{Total\ produksi} = E_{Solar\ Cell} + E_{diesel\ generator} \dots (5)$$

- Keterangan :
- $E_{total\ Produksi}$: Total produksi energi listrik (KWh)

$E_{solar\ cell}$: Total produksi energi solar cell (KWh)
 $E_{diesel\ generator}$: Total produksi energi diesel generator (KWh)

4. Metode *Annualized Cost* (AC)

Annualized Cost digunakan untuk mengetahui total biaya tahunan daridesain sistem pembangkit listrik tenaga hybrid (cahaya matahari dan dieselgenerator). dapat dilihat pada Persamaan 6.

$$COE = \frac{Total\ AC}{E_{tot.produksi}} \dots\dots\dots (6)$$

Keterangan :

- Annualized cost: Biaya tahunan sistem (Rp)
- Capital costs: Biaya modal komponen (Rp)
- Replacement costs : Biaya pergantian komponen (Rp)
- O&M Costs: Biaya operasional dan perawatan (Rp)
- Fuel Costs: Biaya bahan bakar (Rp)
- Salvage : Biaya yang tersisa pada komponen (Rp)

5. Metode *Cost of Energi* (COE)

Cost of Energi digunakan untuk mengetahui biaya yang dikeluarkan perKWh dari sistem.dapat dilihat pada Persamaan 7.

$$Annualized\ cost = Capital\ costs + Replacement\ costs + O\&M\ costs + \dots\dots\dots(7)$$

$$Fuel\ costs - Salvage$$

Keterangan :

- COE : Biaya yang dikeluarkan per KWh (Rp)
- Total AC : Biaya tahunan sistem (Rp)
- $E_{Tot.Produksi}$: Total produksi energi (Rp)

6. Metode *Renewable Penetration* (RP)

Renewable Penetration digunakan untuk mengetahui seberapa besarenergi listrik yang dihasilkan dari total energi listrik yang diproduksi oleh sistem pembangkit listrik tenaga hibrida (cahaya matahari dan diesel generator) dalamjumlah persen (%). Nilai renewable penetration dapat dihitung menggunakan Persamaan 8.

$$RP = \frac{E_{tot.komponen}}{E_{tot.prod.sistem}} \dots\dots\dots(8)$$

Keterangan :

- RP : *Renewable Penetration* (%)
- $E_{Tot.Komponen}$: Total energi listrik yang dihasilkan dari panel surya dan diesel generator (KWh)
- $E_{Tot.Produksi\ Sistem}$: Total produksi energi listrik yang dihasilkan sistem (KWh)

III. Metodologi Penelitian

Metode yang dilakukan adalah sebagai berikut:

3.1. Studi Literatur

Studi literatur penelitian ini meliputi pengumpulan jurnal ilmiah, buku dan artikel mengenai studi sistem pembangkitan listrik tenaga hybrid yang memanfaatkan energi matahari dan diesel generator, sistem kelistikan, studi kelayakan dan optimization results.

3.2 Pengumpulan Data

Pengambilan data menggambarkan keadaan objek penelitian pada saat sekarang sebagaimana adanya berdasarkan fakta-fakta.

3.3. Simulasi Dan Analisis

Simulasi yang berupa perencanaan dan pengujian sistem Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid menggunakan bantuan software Homer Pro

3.4. Kesimpulan dan Saran

Kesimpulan dan saran didapat berdasarkan hasil simulasi, pengujian serta analisa studi kelayakan proyek untuk mencapai tujuan dan manfaat penelitian yang telah ditetapkan serta untuk perbaikan pada penelitianselanjutnya.

IV. Hasil Dan Pembahasan

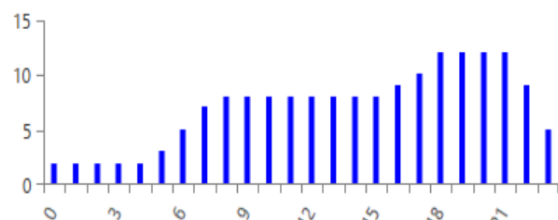
4.1 Kebutuhan Energi Listrik Kapal

Dalam melakukan studi perencanaan pembangkit listrik tenaga hibrida(panel surya dan diesel generator) pada kapal nelayan menggunakan software Homer Pro, maka diperlukan data beban listrik yang terpasang pada kapal ikan yang berada di Pelabuhan Perikanan Samudera (PPS) Belawan. Data beban listrik pada kapal nelayan ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Data beban listrik

NO	ITEM	DAYA (W)	JLH	DURASI PENGGUNAAN (JAM)	TOTAL (WATT HOUR)
1.	Radio VHF	20	1	12	240
2.	GPS Map + Fish Finder	250	1	8	2000
3.	Lampu Navigasi	0,5	2	8	8
4.	Lampu Buritan	15	1	5	75
5.	Lampu Tiang	15	1	5	75
6.	Lampu set LED	50	12	8	4800
7.	Lampu sisi merah hijau	15	2	6	180
8.	Lampu Ruang Navigasi, Mesin, Akomodasi, Toilet, dll	15	5	8	600
9.	Freezer	260	1	12	3120
10.	Kipas Angin Ruang Navigasi	55	2	6	660
TOTAL		1.376			11.758

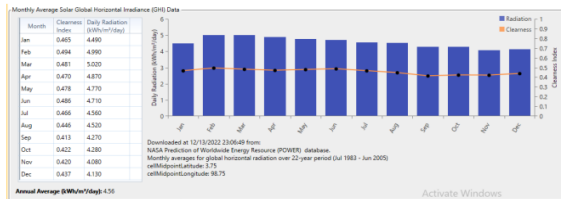
Maka dari itu, berdasarkan Tabel 1 di atas diperoleh data kebutuhan energilistrik kapal ikan yang berkapasitas 15 GT sebesar 11,758 KWh per hari nya.Beban rata-rata yang dikeluarkan dapat dihitung berdasarkan jumlah kebutuhan energi harian dikali dengan 24 jam dalam sehari, yaitu sebesar 0,49kW. Grafik data beban harian kapal nelayan dapat dilihat pada Gambar 3 berikut.



Gambar 3. Grafik Data Beban Harian Kapal Ikan Jaring Angkat Berkapasitas 15 GT

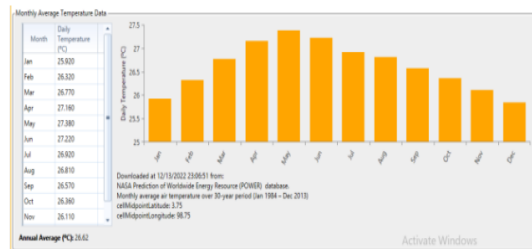
4.2 Data Radiasi Matahari dan Temperatur Udara

Data temperatur udara dan radiasi matahari dalam penelitian ini didapatkan dari situs NASA. Titik koordinat Pelabuhan Perikanan Samudera Belawan (03° 47' 34.35" N 98° 42' 50.49" E) yang diperoleh dari NASA melalui koneksi internet tentang letak garis lintang dan bujur berdasarkan zona waktu yang telah ada. Data yang digunakan rata-rata radiasi matahari dan temperature udara adalah per bulan dalam setahun, yang ditunjukkan pada Gambar 4 dan Gambar 5 berikut.



Gambar 4. Indeks kecerahan dan radiasi sinar matahari

Gambar 5 menunjukkan tampilan pengaturan radiasi sinar matahari dalam software HOMER Pro. Rata-rata radiasi sinar matahari menunjukkan di angka 4,56 kWh/m²/day. Radiasi terbesar terdapat pada bulan Maret yaitu sebesar 5,020 kWh/m²/day dan terkecil pada bulan November yaitu sebesar 4,080 kWh/m²/day.



Gambar 5. Indeks temperatur udara

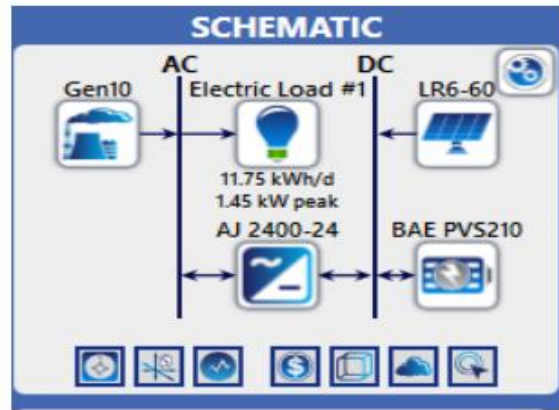
Gambar 5 menunjukkan tampilan temperatur udara yang disebabkan dari radiasi matahari. Rata-rata temperatur yang disebabkan dari radiasi matahari selama setahun yaitu sebesar 26,62°C. Temperatur nominal panel surya yang digunakan sebesar 45°C. Temperatur udara yang dihasilkan tidak melebihi nilai nominal dari panel surya yang digunakan dalam sistem. Apabila temperatur udara melebihi nominal panel surya maka akan mengakibatkan terjadinya kerusakan pada panel surya.

4.3 Aspek Teknis

Setelah data terkumpul, dilakukan optimasi menggunakan Software HOMER (*Hybrid Optimization of Multiple Energy Resource*) untuk menghitung produksi energi yang akan diperoleh dengan sistem yang paling efisien.

Dalam mendesain sebuah skematik sistem PLT Hybrid komponen yang digunakan yaitu panel surya (*solar cell*), baterai, konverter (AJ 2400-24), *solar charge controller* dan generator. Desain sistem

PLTH menggunakan perangkat lunak HOMER Pro dapat dilihat pada Gambar 6 berikut.



Gambar 6. Desain Skematik Sistem PLTH

4.4 Hasil Optimasi Desain Skematik Pembangkit Listrik Tenaga Hibrida

Hasil optimasi bertujuan untuk mengetahui tingkat variabel komponen utama pada pembangkit listrik tenaga hybrid saat beroperasi. Dimana, hasil optimasi diperoleh ketika proses simulasi pada software HOMER telah selesai dijalankan. Gambar 7 menunjukkan tampilan optimasi desain skematik PLTH.

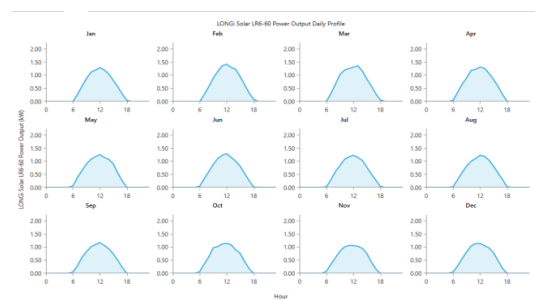
Architecture				
LR6-60 (kW)	Gen10 (kW)	BAE PVS210	AJ 2400-24 (kW)	Dispatch
2.70	10.0	6	1.87	LF
	10.0	6	2.00	LF
	10.0			CC
0.313	10.0		0.0156	CC

Gambar 7. Tampilan Optimasi Desain Skematik PLTH

4.5 Hasil Optimasi Ringkasan PLTH

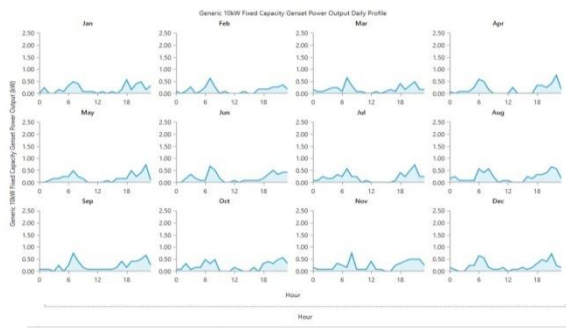
1. Produksi Energi Listrik Generator (per bulan dan per hari)

Generator dirancang untuk menyuplai beban dan sebagian dilayani oleh energi surya. Generator set di kapal menjadi tenaga utama yang mencukupi kebutuhan listrik pada kapal. Grafik energi listrik yang dihasilkan generator per bulan dan per hari dalam setahun dalam tampilan software Homer Pro dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Grafik energi listrik yang dihasilkan generator per bulan dalam setahun

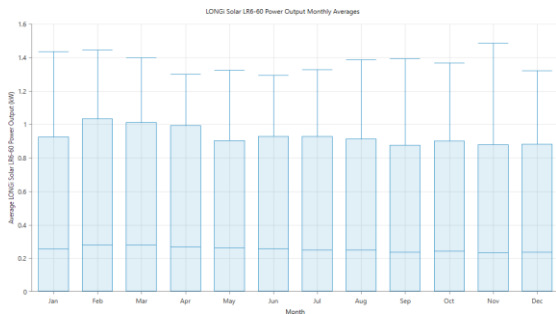
Berdasarkan Gambar 8 di atas dapat dijelaskan bahwa energi listrik yang dihasilkan generator sama setiap bulannya. Rata-rata energi listrik yang dihasilkan per bulan dari yang terendah sampai yang tertinggi antara 0,15 kW (Februari) – 0,23 kW (Agustus) dan maksimal energi listrik harian yang dihasilkan per bulan dalam setahun dari yang terendah sampai yang tertinggi antara 1,70 kW (Februari) – 2,34 kW (Oktober). Sedangkan maksimal energi listrik tahunan yang dihasilkan per bulan sama setiap bulannya 2,50 kW. grafik harian energi listrik yang dihasilkan generator per bulan dalam setahun dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 9. Grafik harian energi listrik yang dihasilkan generator per bulan dalam setahun

2. Produksi Energi Listrik Solar Cell (per bulan dan per hari)

Panel surya hanya dapat bekerja pada saat ada radiasi sinar matahari, jika panel surya tidak bekerja secara optimal dan tidak mencukupi daya beban harian maka diesel generator akan beroperasi untuk menyuplai beban pada kapal



Gambar 10. Grafik energi listrik yang dihasilkan panel surya per bulan dalam setahun

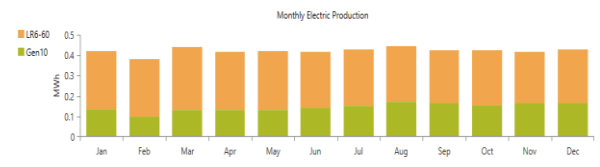
Berdasarkan Gambar 10 di atas dijelaskan bahwa energi listrik yang dihasilkan solar cell pada bulan November merupakan yang tertinggi sedangkan yang terendah pada bulan Juni. Rata-rata energi listrik yang dihasilkan per bulan dari yang terendah sampai yang tertinggi antara 0,35 kW (November) – 0,42 kW (Februari) dan maksimal energi listrik harian yang dihasilkan per bulan dalam setahun dari yang terendah sampai yang tertinggi antara 1,31 kW (September) – 1,55 kW (Februari).

4.6 Aspek Financial

1. Asumsi Utama

Variabel yang dijadikan sebagai asumsi utama pada analisis finansial berikut adalah tingkat inflasi (inflation rate) rata-rata yaitu sebesar 5,40 %, suku bunga rata-rata sebesar 4,50 % dan harga Bio-Solar sebesar Rp. 6.800,-.

2. Total Produksi Energi



Gambar 11. Grafik Produksi Energi Listrik pada Sistem

Total produksi energi listrik yang dihasilkan selama setahun dari sistem pembangkit listrik tenaga hybrid sebagai penyedia cadangan energi listrik kapal nelayan di Pelabuhan Perikanan Samudera (PPS) Belawan sebesar 5.064 kWh/tahun, sedangkan konsumsi energi per tahun sebesar 4.289 kWh/tahun sehingga terdapat kelebihan energi 775 kWh. Presentase dari total produksi energi selama setahun dari sistem dapat dilihat pada Tabel 2 berikut

Tabel 2. Presentase Total Produksi Energi Listrik

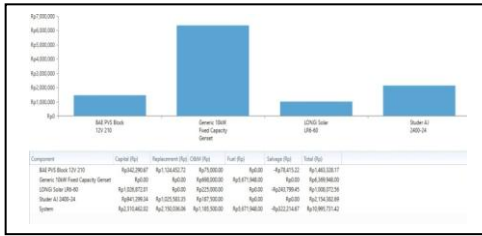
Komponen	Produksi (kWh)	Efisiensi (%)
Panel Surya LONGI Solar LR6-60	3.319	65,5
Generic 10KW Fixed Capacity Genset	1.745	34,5
Total	5.064	100

Dari Tabel 2 presentase total produksi energi listrik dalam setahun dari diesel generator lebih besar dari solar cell yaitu sebesar 65,5%, dimana panel surya dapat memaksimalkan pemanfaatan energi terbarukan pada sistem dan mengurangi jumlah pemakaian bahan bakar minyak (BBM) pada diesel generator. Untuk menghitung total produksi energi yang dihasilkan dapat menggunakan rumus pada Persamaan.

$$\begin{aligned}
 E_{\text{Total produksi}} &= E_{\text{solarcell}} + E_{\text{diesel generator}} \\
 &= 3.319 + 1.745 \\
 &= 5.064 \text{ kWh/tahun}
 \end{aligned}$$

3. Net Present Cost (NPC)

Hasil konfigurasi sistem yang paling optimal ditentukan oleh besarnya Net Present Cost, karena NPC adalah biaya keseluruhan sistem selama jangka waktu tertentu. Pembagian biaya NPC pada tampilan software Homer Pro ditunjukkan pada Gambar 12 berikut.



Gambar 12. Hasil Pembagian Biaya Net Present Cost

cara untuk menghitung nilai net present cost pada penelitian ini dapat menggunakan rumus pada Persamaan

$$NPC = \text{Capital Costs} + \text{Replacement Costs} + \text{O\&M Costs} + \text{Fuel Costs} - \text{Salvage}$$

$$= \text{Rp}50,625,000.00 + \text{Rp}47,109,874.40 + \text{Rp}25,975,729.90 + \text{Rp}124,729,198.04 - \text{Rp}7,060,110.70 = \text{Rp}240,929,691.63$$

4. Annualized Cost (AC)

Adapun kegunaan Annualized Cost adalah untuk mengetahui total biaya tahunan yang akan dikeluarkan dari sistem PLT Hybrid. Pembagian biaya tahunan dari desain sistem dapat dilihat pada Gambar 13 berikut.



Gambar 13. Hasil Pembagian Biaya Tahunan Komponen

$$\text{Annualized cost} = \text{Capital costs} + \text{Replacement costs} + \text{O\&M Costs} + \text{Fuel Costs} - \text{Salvage}$$

$$= \text{Rp}2,310,462.02 + \text{Rp}2,150,036.36 + \text{Rp}1,185,500.00 + \text{Rp}5,671,948.00 - \text{Rp}322,214.67 = \text{Rp}10,995,731.42$$

5. Cost Of Energy (CEO)

Adapun kegunaan cost of energy untuk mengetahui biaya yang dikeluarkan per 1 kWh dari desain sistem. Cost of energi yang dihasilkan dari simulasi sistem hybrid menggunakan software

HOMER Pro sebesar Rp. 2.563,-. Untuk menghitung nilai cost of energy yang dihasilkan dari sistem dapat menggunakan rumus pada Persamaan

$$COE = \frac{\text{Total AC}}{E_{\text{Tot.Konsumsi}}} = \frac{\text{Rp}10,995,731.42}{4.289} = \text{Rp. } 2.563,- /kWh$$

Adapun cara untuk menghitung nilai cost of energy yang dihasilkan dari komponen generator (existing) dapat menggunakan rumus berikut.

$$COE_{\text{genset}} = \text{Spesifikasi Konsumsi BBM} \times \text{Harga BBM} = 0,478 \text{ L/jam/kW} \times \text{Rp. } 6.800,- = 3.250,-/kWh$$

6. Renewable Penetration (RP)

Adapun kegunaan dari renewable penetration adalah untuk mengetahui kinerja dari panel surya dalam menghasilkan energi listrik. Untuk mengetahui renewable penetration menggunakan rumus dari Persamaan .

$$RP = \frac{E_{\text{Tot.Komponen}}}{E_{\text{Tot.Produksi Sistem}}} \times 100\% = \frac{3.319}{5.064} \times 100\% = 65,5 \%$$

Matrik energi renewable penetration dari sistem PLT Hybrid dapat dilihat pada Gambar 14 berikut.

Energy-based metrics	Value	Units
Total renewable production divided by load	77.4	%
Total renewable production divided by generation	65.5	%
One minus total nonrenewable production divided by load	59.3	%

Gambar 14. Hasil Matrik Renewable Penetration

7. Payback Period (PP)

Sebelum menentukan nilai payback period, terlebih dahulu menghitung nilai cash flow yang menyatakan keuntungan yang akan diperoleh adalah sebagai berikut.

$$\text{Pendapatan} = \text{Biaya tahunan energi listrik generator (non hybrid)} \times \text{biaya tahunan produksi energi listrik generator (hybrid)} = COE_{\text{genset}} \times E_{\text{Tot.Produksi Sistem}} - (COE_{\text{genset}} \times E_{\text{Tot.Produksi Genset}}) = (\text{Rp. } 3.250,-/kWh \times 5.064 \text{ kWh/yr}) - (\text{Rp. } 2.563,-/kWh \times 5.064 \text{ kWh/yr})$$

$$\begin{aligned}
 & 3.250,-/kWh \times 1.745kWh/yr \\
 & = (Rp. 16.458.000,-) - (Rp. 5.671.250,-) \\
 & = Rp. 10.786.750,- / Tahun
 \end{aligned}$$

Dari hasil analisis dapat ditentukan nilai Payback Period untuk mengetahui lama pengembalian modal investasi awal. Adapun nilai Payback Period berdasarkan selisih biaya produksi listrik adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 \text{Payback Period} &= \frac{\text{Biaya Investasi Modal Awal}}{\text{Cash Flow}} \\
 &= \frac{\text{Capital costs} + \text{Replacement costs}}{\text{Cash Flow}} \\
 &= \frac{Rp.90.674.764,00}{Rp.10.786.750,00} \\
 &= 8,40 \text{ Tahun} \approx 100 \text{ Bulan}
 \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan diperoleh lama pengembalian modal investasi awal Pembangkit Listrik Tenaga Hibrida dengan PLTD adalah 8,40 Tahun atau setara dengan 100 Bulan. Masa payback period yang relatif singkat tentunya sejalan dengan nilai NPV > 0 yang akan memberikan keuntungan bagi nelayan di masa yang akan datang.

4.7 Aspek Lingkungan

Setelah dilakukannya simulasi pada kedua konfigurasi sistem yaitu panel surya dan diesel generator, maka didapatkan perbandingan dari parameter konsumsi Bahan Bakar Minyak (BBM) yang telah ditentukan. Parameter konsumsi bahan bakar hybrid ditunjukkan pada Tabel 3 berikut.

Tabel 3. Parameter Konsumsi Bahan Bakar (Non Hybrid)

Kuantitas	Nilai	Satuan
Jumlah bahan bakar yang dikonsumsi	2,530	L
Bahan bakar rata-rata per hari	6,93	L/day
Bahan bakar rata-rata per jam	0,289	L/hour

Maka persentase penurunan bahan bakar adalah:

Jumlah konsumsi bahan bakar *hybrid* / Jumlah konsumsi bahan bakar *nonhybrid*

$$\begin{aligned}
 \text{Persentase (\%)} &= 100\% - \left(\frac{\text{jumlah konsumsi bahan bakar hybrid}}{\text{jumlah konsumsi bahan bakar non hybrid}} \times 100\% \right) \\
 &= 100\% - \left(\frac{0,834}{2,530} \times 100\% \right) \\
 &= 67\%
 \end{aligned}$$

Setelah mendapatkan persentase dari penurunan konsumsi bahan bakar, maka didapatkan perbandingan dari parameter emisi gas buang yang dihasilkan oleh sistem yang telah ditentukan. Parameter emisi gas buang sistem pembangkit tenaga listrik hybrid ditunjukkan pada Tabel 4 berikut.

Tabel 4. Parameter Emisi Gas Buang (Hybrid)

Unsur Emisi Gas Buang	Nilai	Satuan
CO ₂ (Karbon Dioksida)	2.179	kg/tahun
CO (Karbon Monoksida)	16,5	kg/tahun
HC (Hidro Karbon)	0,601	kg/tahun
PM ₁₀ (Particulate Matter)	0,999	kg/tahun
SO ₂ (Sulfur Oksida)	5,35	kg/tahun
NO (Nitrogen Oksida)	18,7	kg/tahun
Total	2.221,15	kg/tahun

Parameter emisi gas buang sistem pembangkit tenaga listrik non hybrid ditunjukkan pada Tabel 5 berikut.

Tabel 5. Parameter Emisi Gas Buang (Non Hybrid)

Unsur Emisi Gas Buang	Nilai	Satuan
CO ₂ (Karbon Dioksida)	6.609	kg/tahun
CO (Karbon Monoksida)	50	kg/tahun
HC (Hidro Karbon)	1,82	kg/tahun
PM ₁₀ (Particulate Matter)	3,03	kg/tahun
SO ₂ (Sulfur Oksida)	16,2	kg/tahun
NO (Nitrogen Oksida)	56,8	kg/tahun
Total	6.736,85	kg/tahun

Maka persentase penurunan emisi gas buang sama dengan persentase penurunan konsumsi bahan bakar, yaitu:

$$\begin{aligned}
 \text{Persentase (\%)} &= 100\% - \left(\frac{\text{jumlah emisi gas buang (hybrid)}}{\text{jumlah emisi gas buang (non hybrid)}} \times 100\% \right) \\
 &= 100\% - \left(\frac{2.221}{6.736} \times 100\% \right) \\
 &= 67\%
 \end{aligned}$$

Dari hasil presentase penurunan emisi gas buang sebesar 67% dapat mengurangi tingkat pencemaran pada perairan yang disebabkan oleh hasil buangan industri perikanan dan diharapkan pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Hibrida (panel surya dan diesel generator) pada kapal nelayan dapat menjadi salah satu inovasi untuk mengurangi efek global warming di dunia industri perikanan Indonesia.

5.1 Kesimpulan

Adapun kesimpulan yang diperoleh berdasarkan penelitian yang dilakukan sebagai berikut :

1. Ditinjau dari aspek teknis proyek Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid (panel surya dan diesel generator) pada kapal nelayan di Pelabuhan Perikanan Samudera (PPS) Belawan layak untuk dibangun sebab radiasi matahari yang cukup tinggi dengan rata-rata 4,56 kWh/m²/day. Berdasarkan hasil analisis yang dilakukan pada software HOMER Pro, total produksi listrik yang dihasilkan pada sistem hybrid PLTS-PLTD pertahun sebesar 5.064 kWh/tahun. Dimana kontribusi PLTS terhadap sistem PLTH sebesar 65,5 % atau 3.319 kWh/tahun. Sedangkan PLTD sebesar 34,5 % atau 1.745 kWh/tahun. Kelebihan energinya selama setahun sebesar 775 kWh/tahun.

2. Ditinjau dari aspek finansial pembangkit listrik tenaga hybrid pada kapal nelayan ini layak dibangun sebagai penyedia energi listrik pada kapal karena dengan menerapkan sistem ini, dapat menghemat konsumsi bahan bakar. Konsumsi bahan bakar pada sistem ini sebesar 834 L/tahun dengan persentase penurunan konsumsi bahan bakar sebesar 67 %. Serta payback period yang didapat yaitu 8 tahun 5 bulan dengan masa pembangkit 20 tahun.
3. Dampak kerusakan lingkungan dapat dikurangi dengan menerapkan sistem Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid. Emisi gas buang yang dihasilkan pada sistem ini adalah sebesar 2.221 kg/tahun, sedangkan ketika tidak menerapkan sistem hybrid, gas emisi buang yang dihasilkan sebesar 6.737kg/tahun dimana terjadi persentase penurunan sebesar 67 %.

Daftar Pustaka

- [1]. Andreas Soba, Verna, Hesky S., 2019, *Optimasi Kapasitas Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid(PLTH) di Pulau Bunaken Menggunakan Software HOMER*. Jurnal MIPA UNSRAT. Online 8(1) 7-12.
- [2]. Apriowo, Chico Hermanu Brilianto, 2021. *Perancangan Pembangkit Energi Baru dan Terbarukan*. Bandung : Media Sains Indonesia. ISBN 978-623-6068-01-4.
- [3]. Bayuaji K, Budi P, Hanny, dkk. 2018, *Panduan Studi Kelayakan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Terpusat*. Indonesia Clean Energy Development II.
- [4]. C. Cahya Kartika, 2017, *Sistem Kontrol Pembangkit Listrik Hibrida Generator AC- Sel Surya dan Pengisian Baterai Skala Kecil Menggunakan Arduino Mega 2560*, Tek. Elektro
- [5]. Christy Adi, Imam S, M. Sidik. 2020, *Analisa Biaya dan Manfaat Penggunaan PLTS dan PLTD (Hybrid) Dalam Memenuhi Kebutuhan Listrik Satuan Radar (Satrad) di Perbatasan*. Jurnal Penelitian Ketahanan Energi, Universitas Pertahanan, Vol.6 No.1 Desember
- [6]. Faisal Mahmuddin, dkk. 2019, *Kebutuhan Listrik Untuk Keadaan Darurat Pada Kapal Ferry Ro-Ro KMP*. Tuna 600 GRT, Jurnal Penelitian Departemen Teknik Sistem Perkapalan, UNHAS, Vol. 23 No.1.
- [7]. Hamdi, 2016, *Enegi Terbarukan*. Jakarta : Kencana. ISBN 978-602-422- 099-0.
- [8]. I Kadek Bagus Satya Darma, dkk. 2022, *Analisis Kapasitas Generator Pada Kapal Ikan 15 GT*, Jurnal Penelitian Teknik Kelistrikan Kapal Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya Vol. 7 No. 1 Juni 2022. e- ISSN :2656-1611
- [9]. Juli Sardi, dkk. 2019. *Teknologi Panel Surya Sebagai Pembangkit Listrik Untuk Sistem Penerangan Pada Kapal Nelayan*”. Jurnal Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat UNSIQ, Vol.7 No.1 21 – 26 e-ISSN : 2614-3763.
- [10]. L. Peter, 2018, *Hybrid Optimization of Multiple Energy Resource (HOMER)*, [Online]. Available: <https://www.homerenergy.com/>.
- [11]. Marsudi, Djiateng, 2005. *Pembangkit Energi Listrik*. Jakarta: Erlangga ISBN 979-741-993
- [12]. Mustakim, Hasrul Bakri, Firdaus. *Studi Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Sebagai Sumber Listrik Untuk Kapal Pinisi*, Jurnal
- [13]. *Media Elektrik Pendidikan Teknik Elektro UNM* Vol. 19 No. 3. e- ISSN : 2721-9100.
- [14]. P. Kumar, R. Pukale, N. Kumabhar, and U. Patil, 2016, *Optimal Design Configuration Using HOMER*,”Procedia Technol., vol. 24, pp. 499–504, doi: 10.1016/j.protcy.2016.05.085.
- [15]. R. Sianipar, 2014, *Dasar Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya*, Jurnal Teknik Elektro Univ. Trisakti Jakarta Barat, vol. 11, no. 2, pp. 61– 78.