



## Optimasi Penggunaan Energi Terbarukan pada Budidaya Lele Bioflok di Pandeglang dengan HOMER

Rudi Purwo Wijayanto<sup>1,2\*</sup>, Ronald Akbar<sup>2</sup>, Imam Arif Raharjo<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Pusat Riset Konversi dan Konservasi Energi, Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN)

<sup>2</sup>Jurusan Teknik Mesin, Institut Teknologi Indonesia (ITI)

<sup>3</sup>Jurusan Pendidikan Teknik Elektro, Universitas Negeri Jakarta (UNJ)

### Riwayat Artikel:

Diajukan: 07/07/2024

Diterima: 11/07/2024

Online 15/07/2024

Terbit: 15/07/2024

### Kata Kunci:

Energi Terbarukan

Turbin Angin

PLTS

Bioflok

Homer

### Keywords:

Renewable Energy

Wind Turbine

Photovoltaic

Bioflock

Homer

### Abstrak

Budidaya lele bioflok memiliki keunggulan dalam meningkatkan efisiensi penggunaan pakan dan mengurangi penggunaan bahan kimia, namun memiliki tantangan dalam penggunaan energi yang lebih besar dibandingkan dengan metode konvensional. Tantangan yang lain adalah tidak semua budidaya berlokasi dekat dengan pemukiman dan terhubung dengan grid PLN, sebagian berlokasi jauh dari pemukiman dan tidak terhubung dengan grid PLN. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji potensi dan efektivitas penggunaan energi terbarukan dengan aplikasi HOMER Pro pada budidaya lele bioflok di Pandeglang, Jawa Barat. Pandeglang memiliki intensitas radiasi sinar matahari 5,27 kWh/m<sup>2</sup>/hari dengan kecepatan angin rata-rata 4,99 m/s, sehingga potensial untuk pemanfaatan sel surya dan turbin angin sebagai sumber energi terbarukan. Budidaya lele bioflok dengan kapasitas 2 ton per siklus, membutuhkan energi listrik 13,14 kWh/hari dengan beban puncak 1,74 kW. Dengan menggunakan HOMER Pro, penelitian ini menampilkan 11 skenario dengan berbagai konfigurasi jenis pembangkit. Skenario yang paling optimal adalah penggunaan sel surya dengan kapasitas 1,58 kW dan penggunaan energi dari PLN, dimana akan memberikan persentase penggunaan energi terbarukan sebesar 39,2%. Biaya energi yang dihasilkan pada skenario terbaik adalah Rp Rp 1.019,00/ kWh, dengan IRR 20%, ROI 16% dan BEP selama 5 tahun. Skenario terbaik menghasilkan nilai NPC sebesar Rp 81.100.000,00 atau sebesar 19% lebih rendah dari skenario acuan (*baseline*) yakni sebesar Rp 100.000.000,00 selama masa proyek 20 tahun.

### Abstract

The bioflock catfish farming method presents advantages in terms of enhancing feed efficiency and reducing chemical usage. However, it faces challenges in higher energy consumption compared to conventional methods. Additionally, not all farming locations are situated near residential areas and connected to the PLN grid; some are located in remote areas without PLN grid access. This study aims to assess the potential and effectiveness of renewable energy utilization using HOMER Pro for bioflock catfish farming in Pandeglang, West Java. Pandeglang has an average solar radiation intensity of 5.27 kWh/m<sup>2</sup>/day and an average wind speed of 4.99 m/s, making it suitable for the utilization of solar panels and wind turbines as renewable energy sources. A bioflock catfish farming operation with a capacity of 2 tons per cycle requires 13.14 kWh/day of energy, with a peak load of 1.74 kW. Using HOMER Pro, this study explores 11 scenarios with various generator configurations. The most optimal scenario involves the use of solar panels with a capacity of 1.58 kW combined with energy from PLN, resulting in a renewable energy utilization rate of 39.2%. The cost of energy produced in the optimal scenario is Rp 1,019.00/kWh, with an Internal Rate of Return (IRR) of 20%, a Return on Investment (ROI) of 16%, and a Break-Even Point (BEP) of 5 years. The best scenario yields a Net Present Cost (NPC) of Rp 81,100,000, which is 19% lower than the baseline scenario's NPC of Rp 100,000,000 over the 20-year project period.

### Pendahuluan

Indonesia sebagai negara agraris dengan iklim tropis memiliki potensi besar dalam pengembangan sektor perikanan, khususnya budidaya ikan lele. Konsumsi ikan lele di Indonesia cukup tinggi dan terus meningkat seiring dengan pertumbuhan populasi serta peningkatan kesadaran masyarakat akan

\*Korespondensi: [rudipewe@gmail.com](mailto:rudipewe@gmail.com)

©2024 PISTON: Jurnal Teknologi. Diterbitkan: Oleh Program Pendidikan Vokasi Teknik Mesin UHO Kendari

pentingnya konsumsi protein hewani yang murah dan mudah didapat. Lele menjadi salah satu pilihan utama karena harganya yang terjangkau, kandungan gizi yang baik, serta kemudahan dalam pengolahan [1]. Menurut data dari Badan Pusat Statistik (BPS) dan Kementerian Kelautan dan Perikanan (KKP), konsumsi ikan lele per kapita di Indonesia menunjukkan tren peningkatan [2,3]. Pada tahun 2019, konsumsi ikan lele mencapai sekitar 1,13 kg per kapita per tahun, dan angka ini diproyeksikan terus meningkat seiring dengan upaya pemerintah dalam mendorong konsumsi ikan melalui berbagai program, seperti Gemar Makan Ikan (Gemari) [4].

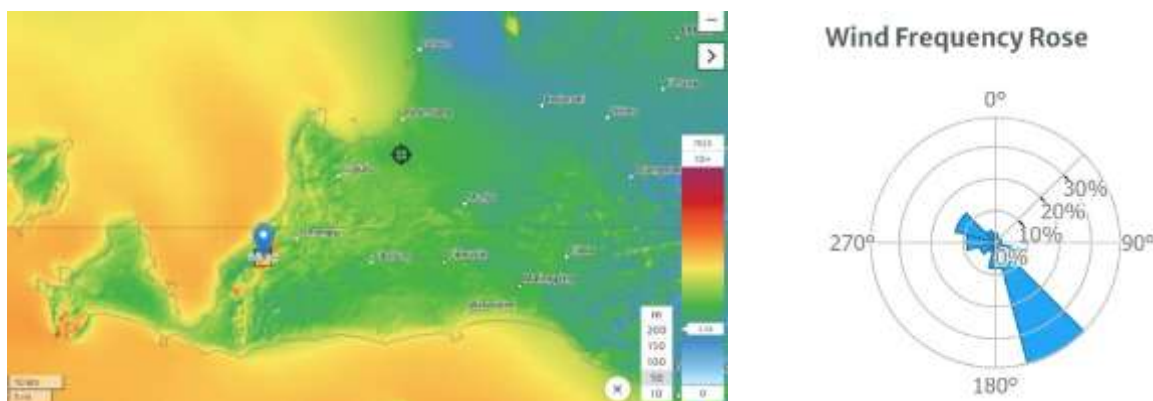
Budidaya ikan lele yang semakin berkembang di berbagai daerah di Indonesia, termasuk dengan penggunaan teknologi yang bertujuan untuk peningkatan produksi. Penggunaan teknologi atau metode seperti sistem bioflok, turut mendukung peningkatan ketersediaan dan konsumsi lele di pasar domestik. Hal ini juga didorong oleh peningkatan kesadaran konsumen terhadap manfaat kesehatan dari mengonsumsi ikan, serta dukungan dari berbagai pihak termasuk pemerintah dalam meningkatkan produksi dan distribusi ikan lele. Budidaya lele sistem bioflok menjadi salah satu inovasi yang menjanjikan, mengingat keunggulannya dalam meningkatkan produktivitas dan efisiensi penggunaan pakan. Teknik bioflok mengandalkan mikroorganisme untuk mengubah limbah organik menjadi sumber makanan tambahan bagi lele, yang membutuhkan aerasi terus-menerus untuk menjaga kualitas air dan mendukung kehidupan mikroorganisme tersebut [6].

Pengembangan budidaya lele dengan teknologi bioflok menghadapi beberapa tantangan diantaranya adalah penggunaan energi yang lebih besar dibandingkan metode konvensional. Peningkatan energi pada teknologi ini digunakan untuk mendukung sistem aerasi yang diperlukan dalam menciptakan dan mempertahankan kondisi bioflok [7]. Beberapa studi menunjukkan bahwa penggunaan energi dalam sistem bioflok lebih tinggi dibandingkan dengan sistem konvensional karena kebutuhan aerasi yang konstan. Namun, sistem bioflok dapat meningkatkan efisiensi penggunaan pakan dan mengurangi penggunaan bahan kimia, yang pada akhirnya dapat menurunkan biaya operasional secara keseluruhan [8].



**Gambar 1.** Kolam bioflok pada obyek penelitian

Tantangan lain dalam pengembangan budidaya lele bioflok adalah penggunaan energi terbarukan yang lebih ramah lingkungan. Lokasi budidaya tidak selamanya berada dalam kawasan pemukiman yang teraliri listrik PLN, beberapa terletak pada kawasan bukan pemukiman yang tidak tersambung dengan grid PLN. Kondisi demikian yang mendorong penggunaan energi mandiri yang berasal dari energi terbarukan. Budidaya lele bioflok dengan mengoptimalkan potensi energi terbarukan akan menciptakan dampak positif yang berkelanjutan bagi lingkungan.



**Gambar 2.** Lokasi dengan kontur kecepatan angin rata-rata pada ketinggian 50-meter dan pola distribusi arah angin rata-rata tahunan [19]

HOMER (*Hybrid Optimization Model for Electric Renewables*) adalah perangkat lunak yang mampu mensimulasikan dan mengoptimalkan sistem energi terbarukan, sehingga dapat memberikan solusi yang tepat dan efisien secara ekonomi untuk kebutuhan energi di berbagai sektor [9]. Aplikasi HOMER dapat digunakan untuk skala kecil hingga skala yang besar, baik untuk penggunaan dalam rumah tangga [10, 11] dan komunitas [12] hingga pada kebutuhan kelistrikan regional [13,14]. Optimasi penggunaan energi terbarukan dalam bidang perikanan dan kelautan diantaranya dipergunakan dalam pemenuhan kebutuhan energi pada lokasi manajemen pelabuhan [15, 16] dan juga pada kolam budidaya ikan [17, 18].

Artikel ini bertujuan untuk mengkaji potensi dan efektivitas penggunaan energi terbarukan dengan aplikasi HOMER Pro pada budidaya lele bioflok di Pandeglang, Jawa Barat. Melalui pendekatan ini, diharapkan dapat tercipta model budidaya yang tidak hanya produktif tetapi juga ramah lingkungan dan berkelanjutan.

## Metode

### A. Diagram alir perancangan

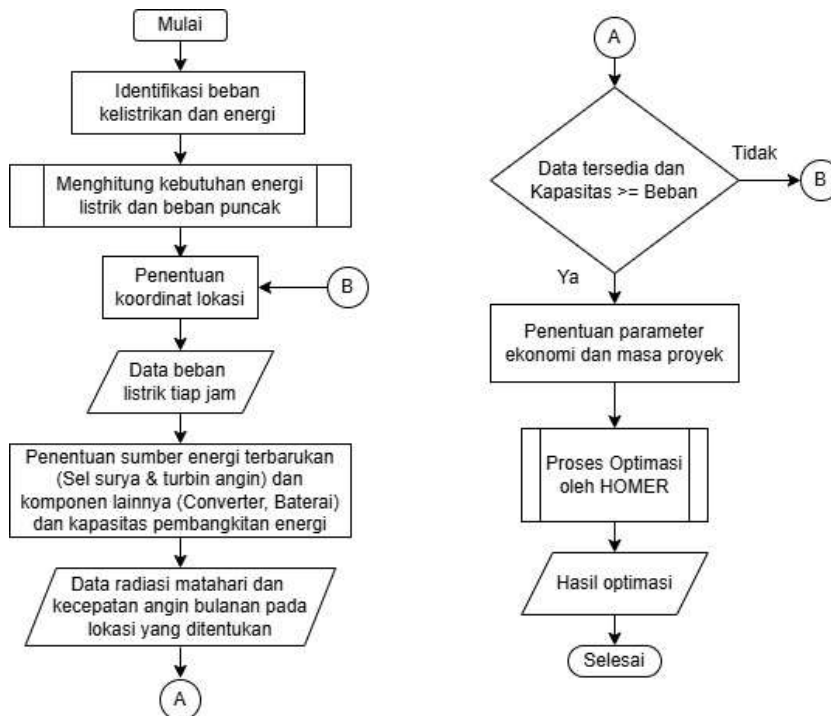
Perancangan optimasi energi terbarukan menggunakan HOMER Pro ditunjukkan pada **Gambar 3**. Pada tahap identifikasi kebutuhan beban kelistrikan, metode penelitian yang digunakan adalah observasi dan wawancara. Observasi dilakukan untuk mengetahui peralatan kelistrikan yang digunakan serta pengukuran beban aktual sesaat. Sedangkan teknik wawancara digunakan untuk memeriksa kembali dan mengonfirmasi kebutuhan energi per bulan. Kebutuhan energi ( $E$ ) suatu peralatan listrik dihitung dari nilai beban atau daya ( $P$ ) dikalikan dengan waktu penggunaan ( $t$ ), dan dinyatakan dalam persamaan berikut;

$$E_x = P_x \times t \tag{1}$$

dimana  $E_x$  adalah energi untuk peralatan  $x$  dengan satuan Watt jam (Wh),  $P_x$  adalah daya peralatan  $x$  dengan satuan Watt (W), dan  $t$  adalah waktu peralatan  $x$  bekerja dengan satuan jam (h).

Apabila dalam sebuah sistem terdapat sejumlah  $m$  peralatan, maka energi total ( $E_{total}$ ) dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut;

$$E_{total} = \sum_{x=1}^m E_x \tag{2}$$



**Gambar 3.** Diagram alir perancangan optimasi energi terbarukan dengan HOMER Pro

Penentuan koordinat lokasi menjadi hal yang sangat penting, karena menentukan berapa potensi energi terbarukan yang dapat digunakan. Dalam penggunaan sel surya dan turbin angin, faktor terpenting adalah ketersediaan radiasi sinar matahari dan kecepatan angin rata-rata sepanjang tahun.

Untuk menjamin kehandalan penyediaan energi listrik, kapasitas pembangkit harus melebihi beban kelistrikan atau kebutuhan daya.

**B. Penentuan jenis dan kapasitas pembangkit**

Tahapan selanjutnya setelah mengetahui kebutuhan energi listrik adalah merencanakan jenis dan kapasitas pembangkit. Penentuan kapasitas sel surya dalam kondisi tanpa ada sumber energi yang lain (*stand alone*) dapat ditentukan dengan persamaan berikut [20];

$$P_{PV} = \frac{E_{total}}{R_{PV}} \times 1,1 \tag{3}$$

dimana  $P_{PV}$  adalah kapasitas sel surya yang dibutuhkan dalam Watt (W) atau kilo Watt (kW),  $E_{total}$  adalah energi total beban kelistrikan,  $R_{PV}$  adalah radiasi intensitas sinar matahari dalam kWh/m<sup>2</sup>/tahun.

Untuk penggunaan turbin angin selama setahun, energi yang dapat dihasilkan secara individual menggunakan persamaan sebagai berikut [21];

$$E_{WT} = 8760 \times 10^3 \int_{V_{cut-in}}^{V_{cut-off}} P(v)f(v) \tag{4}$$

dimana  $E_{WT}$  adalah energi turbin angin selama setahun (GWh/tahun),  $V_{cut-in}$  adalah tegangan yang dihasilkan pada kecepatan angin terendah,  $V_{cut-out}$  tegangan yang dihasilkan pada kecepatan angin maksimal,  $P(v)$  adalah daya yang dihasilkan (Watt) dan  $f(v)$  adalah distribusi parameter Weibull.

Baterai digunakan sebagai penyimpan energi, dimana dalam penghitungan kebutuhannya didasarkan pada efisiensi untuk masing-masing baterai, konverter dan sistem pengkabelan yang dirumuskan sebagai berikut [20];

$$E_{Bat} = \frac{E_{total}}{\mu_{Bat} \times \mu_{Con} \times \mu_{Wire}} \tag{5}$$

dimana  $E_{Bat}$  adalah energi atau kapasitas baterai yang diperlukan (kWh),  $\mu_{Bat}$ ,  $\mu_{Con}$ ,  $\mu_{Wire}$  adalah masing-masing efisiensi baterai, konverter dan pengkabelan.

**Tabel 1.** Asumsi yang digunakan [22]

Parameter	Nilai (asumsi) yang digunakan
Pertumbuhan ekonomi (nilai inflasi)	2,84 %
Tingkat suku bunga	6,25 %
Usia proyek	20 tahun
Nilai investasi - Sel surya: Canadian Solar225CS5P-225M - Turbin angin: Eocycle EO10 - Baterai: EnerSys PowerSafe SBS 100F - Konverter: Studer Xtender XTM 2400-24	- Rp 6.000.000, -/ kWp - Rp 80.000.000, - - Rp 2.000.000, - - RP 7.000.000, -
Umur pakai - Sel surya: Canadian Solar225CS5P-225M - Turbin angin: Eocycle EO10 - Baterai: EnerSys PowerSafe SBS 100F - Konverter: Studer Xtender XTM 2400-24	25 tahun 20 tahun 10 tahun 10 tahun
Biaya operasi dan perawatan per tahun	1-2 % dari nilai investasi

**C. Asumsi dan parameter ekonomi**

Optimasi dalam penyediaan energi listrik umumnya menggunakan parameter ekonomi, yang terdiri atas nilai uang saat ini atau NPC (*net present cost*), biaya investasi, biaya operasional dan pemeliharaan, waktu kembali modal atau BEP (*break event period*) dan rasio keuntungan atau IRR (*internal rate return*). Nilai uang saat ini ditentukan dengan persamaan sebagai berikut;

$$NPC = \frac{C_{tahunan}}{CRF(i, R_{proj})} \tag{6}$$

dimana  $NPC$  adalah nilai uang saat ini,  $C_{tahunan}$  adalah biaya pertahun dari keseluruhan masa proyek,  $CRF(i, R_{proj})$  adalah faktor biaya dengan tingkat suku bunga  $i$  dan proyeksi masa proyek  $R_{proj}$ . Untuk kemudahan penghitungan  $CRF$  digunakan persamaan berikut;



$$CRF = \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \tag{7}$$

dimana  $i$  adalah tingkat suku bunga (*interest rate*) dengan  $n$  adalah tahun masa proyek.

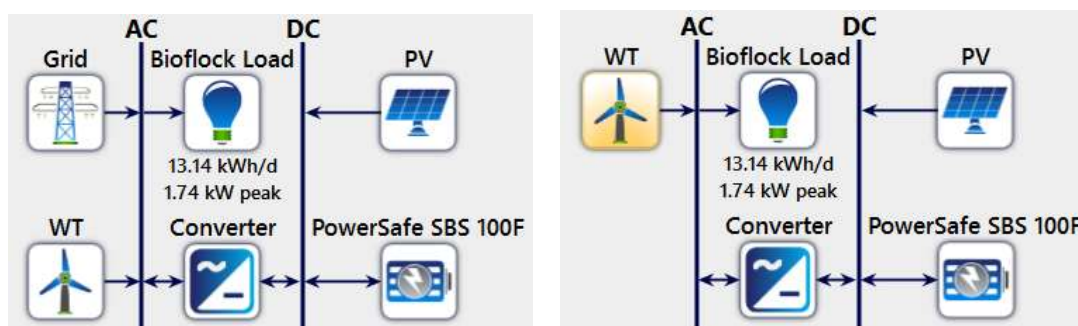
Nilai biaya energi ditentukan sebagai LCOE (*least cost of energy*) yakni total biaya yang dikeluarkan untuk menghasilkan 1 kWh energi dengan satuan Rp/kWh. Persamaan untuk mendapatkan nilai LCOE adalah sebagai berikut;

$$LCOE = \frac{NPC}{E_{served}} \tag{8}$$

dimana  $E_{served}$  adalah energi yang dibangkitkan selama periode tertentu.

Asumsi yang digunakan dalam penelitian ini ditunjukkan pada **Tabel 2**. Parameter pertumbuhan ekonomi mengacu pada laman “*Trading Economic Indonesia*” yang diunduh pada 5 Juni 2024 [22]. Asumsi ini juga digunakan pada penelitian yang dilaksanakan oleh Maarif, dkk [15]. Usia proyek ditetapkan selama 20 tahun, dengan umur pakai untuk sel surya adalah 25 tahun, turbin angin selama 20 tahun, baterai dan konverter masing-masing adalah 10 tahun.

Penelitian ini menggunakan skenario sistem optimasi yang terhubung dengan grid PLN dan sistem optimasi mandiri tanpa terhubung dengan grid PLN. Acuan (*baseline*) ditentukan dengan asumsi energi listrik yang digunakan dalam budidaya bioflok seluruhnya disuplai oleh grid PLN. Desain perancangan sistem ditunjukkan pada **Gambar 4**.



**Gambar 4.** Skenario optimasi HOMER dengan kondisi dengan dan tanpa PLN

## Hasil dan Pembahasan

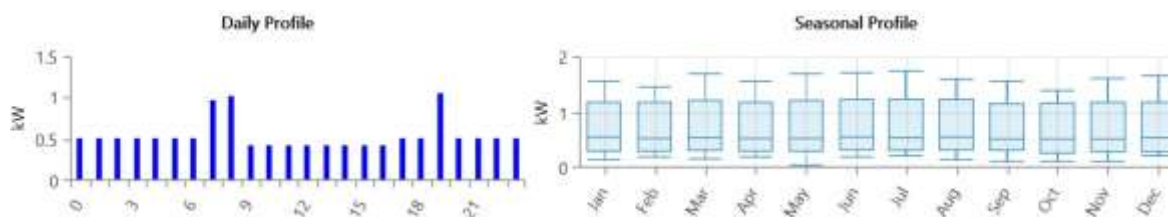
### A. Beban Kelistrikan

Beban kelistrikan untuk budidaya lele *bioflok* dengan kapasitas 2 ton per siklus ditunjukkan pada **Tabel 2**, dimana beban yang terbesar adalah mesin pengaduk pakan. Mesin pengaduk digunakan untuk mengaduk campuran pakan yang dalam hal ini bertujuan untuk menambah nutrisi pada pakan yang diberikan serta mengurangi ketergantungan terhadap pakan pabrikan. Meskipun daya mesin pengaduk paling tinggi, namun penggunaan dalam sehari relatif singkat yakni rata-rata selama 1 jam yang dilakukan pada pagi dan atau sore hari. Untuk penggunaan energi, penggunaan terbesar terletak pada pompa aerator dan pompa sirkulasi, dimana kedua pompa tersebut bekerja selama 24 jam. Energi yang diperlukan untuk menjalankan kedua pompa tersebut per hari adalah 10, 32 kWh (kilowatt jam) atau setara dengan 75% penggunaan energi secara keseluruhan.

**Tabel 2.** Data peralatan listrik dan daya

Peralatan	Jumlah (buah)	Daya (watt)	Jam pemakaian per hari (jam)	Konsumsi energi per hari (watt jam)
Lampu penerangan	10	8	14	1.120
Pompa air	1	400	2	800
Pompa aerator	1	230	24	5.520
Pompa sirkulasi	2	100	24	4.800
Mesin pengaduk	1	1,500	1	1.500

Profil beban harian dan bulanan, ditunjukkan pada **Gambar 5**. Profil beban bulanan diperoleh dari hasil perkiraan yang dilakukan oleh perangkat lunak HOMER Pro dengan mengatur nilai variasi beban harian secara random sebesar 10% dengan langkah waktu (*timestep*) adalah 20%. Pengaturan tersebut merupakan nilai bawaan (*default*) dari desain beban kelistrikan pada perangkat lunak HOMER Pro [23].



Gambar 5. Profil beban harian dan bulanan

B. Ketersediaan sinar matahari dan kecepatan angin rata-rata

Ketersediaan sinar matahari pada lokasi *bioflok* yang ditunjukkan pada Gambar 6 rata-rata adalah 5,27 kWh/m<sup>2</sup>/hari dengan indeks kecerahan rata-rata 0,36. Gambar 6 menunjukkan profil bulanan tingkat radiasi matahari dan indeks kecerahan pada lokasi *bioflok*. Data tingkat radiasi dan indeks kecerahan diperoleh dari basis data pengukuran dan prediksi NASA selama 22 tahun (Juli 1983 – Juni 2005) [23].

Gambar 7 menunjukkan kecepatan angin rata-rata di setiap bulan dalam kurun waktu 1 tahun. Data kecepatan angin diperoleh dari basis data pengukuran NASA selama 30 tahun (Desember 1984 – Desember 2013) pada ketinggian 50 m. Data kecepatan angin nantinya akan digunakan untuk mengetahui kapasitas turbin angin yang dapat diimplementasikan pada proyek ini. Diperoleh rata-rata kecepatan angin pada lokasi *bioflok* pada ketinggian 10 m di atas permukaan tanah adalah 4,99 m/s.



Gambar 6. Tingkat radiasi matahari (kWh/m<sup>2</sup>/hari) dan indeks kecerahan



Gambar 7. Kecepatan rata-rata angin pada setiap bulan dalam setahun (m/s)

C. Perancangan sistem dan kapasitas pembangkitan

Perancangan sistem pembangkitan dalam penelitian ini adalah menggunakan sel surya dan turbin angin dengan pemilihan jenis dan kapasitas berdasarkan ketersediaan intensitas matahari dan kecepatan angin. Perancangan ini juga melibatkan penggunaan baterai sebagai sistem penyimpanan energi dan konverter sebagai sistem pengubah jenis tegangan dari DC ke AC ataupun sebaliknya. Hal ini dikarenakan sel surya dan baterai yang digunakan menggunakan tipe tegangan DC sedangkan beban, turbin angin dan sistem PLN menggunakan tipe tegangan AC. Spesifikasi teknis sel surya, turbin angin, serta baterai yang digunakan dalam perancangan ini ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Spesifikasi teknis

Sel surya	Turbin Angin	Baterai
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Merk &amp; Type: Canadian Solar 225CS5P-225M</li> <li>▪ Kapasitas: 225 Watt</li> <li>▪ Koefisien temperatur: -0,476</li> <li>▪ Temperatur kerja: 42,4 °C</li> <li>▪ Efisiensi: 13%</li> <li>▪ Pembuat: Canadian Solar</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Merk &amp; Type: Eocycle EO10</li> <li>▪ Kapasitas: 10.000 Watt</li> <li>▪ Diameter rotor 15,81 m</li> <li>▪ Kelas III</li> <li>▪ Cut in: 2,75 m/s</li> <li>▪ Cut out: 20 m/s</li> <li>▪ Ketinggian hub: 16–23 m</li> <li>▪ Pembuat: Eocycle</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Merk &amp; Type: EnerSys PowerSafe SBS 100F</li> <li>▪ Tegangan: DC 12V</li> <li>▪ Kapasitas: 1.390 Watt</li> <li>▪ Kapasitas maksimal: 116 Ampere jam (Ah)</li> <li>▪ Rasio kapasitas: 0,526</li> <li>▪ Efisiensi: 97%</li> <li>▪ Arus maksimal kondisi charging: 100 A</li> <li>▪ Arus maksimal kondisi discharging: 459 A</li> </ul>

D. Hasil optimasi dengan berbagai skenario

Hasil optimasi untuk kombinasi pembangkit sel surya, turbin angin, baterai, dan grid PLN ditunjukkan pada Tabel 4, dimana menghasilkan 10 skenario konfigurasi. Diantara 10 konfigurasi terdapat 8 konfigurasi dengan melibatkan grid PLN dan 2 konfigurasi tanpa grid PLN atau pembangkitan mandiri. Konfigurasi dengan melibatkan grid PLN ditunjukkan pada Skenario 1 hingga Skenario 8, sedangkan konfigurasi tanpa grid PLN ditunjukkan pada Skenario 9 hingga Skenario 11. Skenario 3 merupakan skenario acuan (*baseline*), dimana hanya melibatkan grid PLN saja yang bekerja untuk mensuplai

kebutuhan energi pada budidaya bioflok. Penyusunan Skenario 1 hingga Skenario 10 menunjukkan tingkat keekonomian, dimana Skenario 1 memiliki nilai ekonomi yang paling optimal. Demikian juga dengan sebaliknya, Skenario 10 menunjukkan skenario yang paling tidak ekonomis.

**Tabel 4.** Hasil optimasi dengan nilai keekonomian dan persentase energi terbarukan

Skenario	Konfigurasi Pembangkit				Nilai Ekonomi				Persentase Energi Terbarukan
	Sel Surya (kW)	Turbin Angin 30 kW (unit)	Baterai 1,39 kW (unit)	Grid PLN	NPC (ribu)	Biaya Energi (Rp/kWh)	Biaya Operasional (ribu/tahun)	Biaya Investasi (ribu)	
1	1,58	-	-	Ya	Rp81.100,00	Rp1.019,00	Rp4.960,00	Rp9.450,00	39%
2	1,8	-	1	Ya	Rp82.300,00	Rp1.034,00	Rp4.810,00	Rp12.800,00	46%
<b>3</b>	-	-	-	<b>Ya</b>	<b>Rp100.000,00</b>	<b>Rp1.445,00</b>	<b>Rp6.930,00</b>	-	<b>0%</b>
4	-	-	1	Ya	Rp103.000,00	Rp1.489,00	Rp7.000,00	Rp2.000,00	0%
5	-	1	-	Ya	Rp217.000,00	Rp2.891,00	Rp9.480,00	Rp80.000,00	98%
6	-	1	1	Ya	Rp218.000,00	Rp2.918,70	Rp9.420,00	Rp82.000,00	98%
7	0,45	1	-	Ya	Rp219.000,00	Rp2.880,00	Rp9.400,00	Rp82.700,00	98%
8	0,45	1	1	Ya	Rp220.000,00	Rp2.912,50	Rp9.340,00	Rp84.700,00	99%
9	5,92	-	26	Tidak	Rp129.000,00	Rp1.857,00	Rp2.840,00	Rp87.600,00	100%
10	1,13	1	11	Tidak	Rp234.000,00	Rp3.388,00	Rp8.850,00	Rp107.000,00	100%
11	-	1	13	Tidak	Rp236.000,00	Rp3.407,00	Rp9.000,00	Rp106.000,00	100%

Konfigurasi yang paling optimal untuk menyuplai beban kelistrikan bioflok sebesar 13,4 kW per hari atau setara dengan 4,89 MW per tahun adalah kombinasi pemakaian sel surya dan PLN, seperti yang ditunjukkan pada Skenario 1 (lihat pada **Tabel 4**). Konfigurasi tersebut memerlukan instalasi sel surya dengan kapasitas 1,58 kW atau 7 panel sel surya Canadian Solar 225CS5P-225M, yang memberikan kontribusi penggunaan energi terbarukan hanya sebesar 39%. Persentase penggunaan energi terbarukan dapat ditingkatkan menjadi 46% dengan penambahan sel surya dengan tipe yang sama menjadi 8 panel dan penggunaan baterai 1,39 kW sebanyak 1 buah, seperti yang ditunjukkan pada Skenario 2. Biaya investasi pada Skenario 2 lebih tinggi apabila dibandingkan dengan Skenario 1 yang disebabkan oleh penambahan pembelian panel sel surya dan baterai, namun biaya operasional lebih rendah.

Dengan harga pembelian listrik dari PLN sebesar Rp 1.445,00 per kWh, penggunaan turbin angin belum layak secara ekonomi. Dengan penambahan turbin angin, biaya energi menjadi dua kali lipat dari skenario acuan (suplai 100% grid PLN) dan hampir tiga kali lipat dari skenario penggunaan sel surya dan grid PLN, seperti ditunjukkan pada Skenario 5 hingga Skenario 8. Dengan demikian untuk pemenuhan kebutuhan energi pada budidaya lele bioflok potensi angin rata-rata 4,99 m/s, penggunaan turbin angin skala 30 kW secara ekonomi masih belum layak. Penggunaan turbin angin pada dasarnya akan memperbesar persentase penggunaan energi terbarukan sampai 99%.

**Tabel 5.** Hasil optimasi dengan biaya dari pembangkitan energi terbarukan dan energi yang dihasilkan

Skenario	Sel Surya		Turbin Angin			Baterai			Grid PLN	
	Biaya Investasi (ribu)	Produksi (kWh/tahun)	Biaya Investasi (ribu)	Biaya Operasional per tahun (ribu)	Produksi (kWh/tahun)	Energi (kWh/tahun)	Kapasitas Nominal (kWh)	Kapasitas Terpakai (kWh)	Energi yang dibeli (kWh)	Energi yang terjual (kWh)
1	Rp9.450,00	2.379	-	-	-	-	-	-	3.348	710
2	Rp10.800,00	2.719	-	-	-	294	1,39	0,974	2.997	707
<b>3</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	<b>4.796</b>	<b>0</b>
4	-	-	-	-	-	0,974	1,39	0,974	4.795	0
5	-	-	Rp80.000,00	Rp80.000,00	50.910	-	-	-	1.023	47.137
6	-	-	Rp80.000,00	Rp80.000,00	50.910	205	1,39	0,974	831	46.917
7	-	-	Rp80.000,00	Rp80.000,00	50.910	-	-	-	943	47.703
8	-	-	Rp80.000,00	Rp80.000,00	50.910	302	1,39	0,974	661	47.390
9	Rp35.549,00	8.949	-	-	-	2.865	36,2	25,3	-	-
10	Rp3.165,00	797	Rp80.000,00	Rp80.000,00	50.910	992	15,3	10,7	-	-
11	-	-	Rp80.000,00	Rp80.000,00	50.910	1091	18,1	12,7	-	-

Untuk skenario energi mandiri tanpa melibatkan grid PLN (Skenario 9, 10 dan 11), diperlukan konfigurasi sel surya, turbin angin, dan penggunaan baterai. Namun dari skenario yang ada, penggunaan energi mandiri secara ekonomi masih kurang layak dan melebihi Skenario 3 (*baseline*). Dari ketiga skenario energi mandiri tanpa grid PLN, Skenario penggunaan sel surya dan baterai

(Skenario 9) adalah yang paling optimal. Skenario ini membutuhkan 27 panel surya dengan kapasitas 225 Watt per panel dan 26 baterai dengan daya 1,39 kW. Biaya energi yang diperlukan adalah Rp 1.857,00 per kWh sedikit lebih tinggi dari biaya pembelian listrik dari PLN.

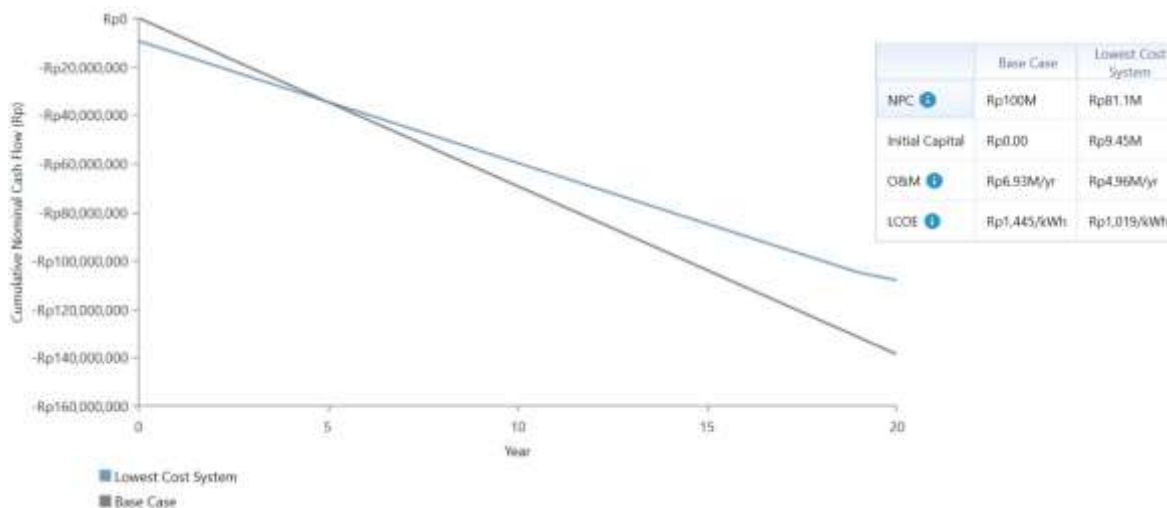
**Tabel 5** menunjukkan biaya dan energi yang dihasilkan dari masing-masing pembangkit energi terbarukan serta jumlah energi yang dibeli serta peluang energi yang bisa dijual ke PLN. Dalam studi ini tidak memasukkan *feed-in* tarif, dimana nilai jual energi listrik ke PLN diasumsikan Rp 0, - per kWh. Penggunaan 1,58 kW sel surya dapat mengurangi pembelian energi PLN 1,5 MWh hingga 2 MWh per tahun, selain ada kelebihan energi sekitar 700 kWh per tahun. Penggunaan turbin angin 30 kW akan menghasilkan energi 50,91 MWh per tahun jauh melebihi kebutuhan energi untuk budidaya lele bioflok yang hanya membutuhkan 4,8 MWh per tahun. Hal tersebut yang menyebabkan penggunaan turbin angin 30 kW tidak layak secara ekonomi, dimana biaya investasi yang diperlukan masih cukup besar.

Untuk skenario energi mandiri, penggunaan sel surya dan baterai adalah konfigurasi yang paling mendekati optimal. Energi yang dihasilkan oleh 5,92 kW sel surya dengan ketersediaan energi matahari 5,27 kWh/m<sup>2</sup>/hari mampu menghasilkan 8,95 MWh per tahun, dimana hampir dua kali lipat kebutuhan energi pada budidaya bioflok. Hal ini diperlukan mengingat ketersediaan energi matahari yang rata-rata per hari berkisar 10-12 jam, sedangkan kebutuhan energi dalam satu hari selama 24 jam. Kelebihan energi pada sel surya tersebut digunakan untuk pengisian baterai, sehingga kebutuhan energi sepanjang hari dapat terpenuhi.



**Gambar 8.** Diagram alir perancangan optimasi energi terbarukan dengan HOMER

Produksi listrik per bulan pada Skenario 1 ditunjukkan pada **Gambar 8**, grid PLN secara rata-rata masih mendominasi. Produksi energi dari sel surya per tahun adalah sebesar 2.379 kWh sedangkan grid PLN sebesar 3.348 kWh (lihat **Tabel 5**) atau dengan kalimat lain persentase energi terbarukan adalah sebesar 41,5%. Nilai persentase ini, tidak memperhitungkan energi berlebih yang tidak digunakan yakni sebesar 108 kWh atau sebesar 1,88%.



**Gambar 9.** Grafik *break event point* Skenario 1 terhadap Skenario 3

Waktu pengembalian modal atau *break event point* pada Skenario 1 adalah selama 5 tahun dengan nilai pengembalian internal (IRR) sebesar 20% dan rasio keuntungan (ROI) sebesar 16%. Gambar 7 menunjukkan grafik pengembalian modal disertai dengan tabel yang menunjukkan perbandingan secara ekonomi penggunaan grid PLN (Skenario 3) dengan penggunaan sel surya (Skenario 1). Istilah NPC (*net present cost*) adalah nilai saat ini, *initial capital* merupakan biaya investasi, O&M adalah biaya operasional, dan LCOE (*least cost of energi*) merupakan biaya energi. Skenario terbaik menghasilkan nilai NPC sebesar Rp 81.100.000,00 atau sebesar 19% lebih rendah dari skenario acuan (*baseline*) yakni sebesar Rp 100.000.000,00. Biaya energi (LCOE) pada skenario terbaik sebesar Rp 1.019,00/kWh dibawah biaya pembelian energi dari PLN yakni sebesar Rp 1.445,00/kWh.



## Kesimpulan

Kebutuhan energi untuk budidaya lele bioflok dengan kapasitas 2 ton/siklus, berdasarkan observasi adalah 13,14 kWh/hari dengan beban puncak 1,74 kW. Tingkat radiasi matahari pada lokasi penelitian adalah sebesar 5,27 kWh/m<sup>2</sup>/hari dengan rata-rata kecepatan angin adalah 4,99 m/s. Dengan menggunakan pembangkit sel surya, turbin angin, baterai dan grid PLN, penelitian ini menghasilkan 11 skenario dengan berbagai konfigurasi jenis pembangkit. Dari 11 skenario tersebut, 8 skenario menggunakan grid PLN (*on grid*) dan 3 skenario tidak terhubung grid PLN (*off grid*). Skenario yang paling optimal adalah penggunaan sel surya dengan kapasitas 1,58 kW dan penggunaan energi dari PLN. Skenario ini menghasilkan persentase penggunaan energi terbarukan sebesar 39,2% atau 41,5% jika tidak memperhitungkan energi berlebih. Biaya energi yang dihasilkan pada skenario terbaik adalah Rp Rp 1.019,00/ kWh, dengan IRR 20%, ROI 16% dan BEP selama 5 tahun. Skenario terbaik menghasilkan nilai NPC sebesar Rp 81.100.000,00 atau sebesar 19% lebih rendah dari skenario acuan (*baseline*) yakni sebesar Rp 100.000.000,00 selama masa proyek 20 tahun.

Dalam berbagai skenario penggunaan turbin angin belum memenuhi nilai keekonomian, hal tersebut dikarenakan biaya investasi yang cukup besar dan kecepatan dan ketersediaan angin yang rendah. Kecepatan angin yang rendah menyebabkan turbin bekerja di bawah kapasitas optimalnya, sehingga mengurangi efisiensi sistem. Ketersediaan angin yang rendah akan menyebabkan penurunan faktor kapasitas, sehingga produksi energinya berkurang.

## Daftar pustaka

- [1] M. Zainuddin and L. Adrianto, "Analysis of Catfish Consumption Patterns in Indonesia: A Case Study," *Journal of Aquaculture Research & Development*, vol. 9, no. 3, pp. 1-7, 2018.
- [2] Badan Pusat Statistik (BPS), *Statistik Perikanan Indonesia*. Jakarta: Badan Pusat Statistik, 2019.
- [3] Kementerian Kelautan dan Perikanan (KKP), *Laporan Kinerja Kementerian Kelautan dan Perikanan*. Jakarta: KKP, 2020.
- [4] R. Hartono and A. Widodo, "Peningkatan Konsumsi Ikan Lele di Indonesia Melalui Program Gemarikan," *Jurnal Sosial Ekonomi Kelautan dan Perikanan*, vol. 14, no. 1, pp. 45-54, 2019.
- [5] D. P. Sari and B. Sumiono, "Analisis ekonomi budidaya lele sistem bioflok di Kabupaten Pandeglang," *Jurnal Perikanan*, vol. 20, no. 2, pp. 98-105, 2018.
- [6] J. A. Hargreaves, *Biofloc Production Systems for Aquaculture*. Southern Regional Aquaculture Center Publication, 4503, 2013.
- [7] Y. Avnimelech, *Biofloc Technology: A Practical Guide Book*. World Aquaculture Society, 2012.
- [8] M. Emerenciano, G. Gaxiola, and G. Cuzon, "Biofloc Technology (BFT): A Review for Aquaculture Application and Animal Food Industry," *Biomass Now: Cultivation and Utilization*, pp. 1-33, 2013.
- [9] A. Esi, M. G. Akpınar, and N. Demircan, "Optimization of hybrid renewable energy systems: A case study," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 134, p. 110322, 2020.
- [10] B. S. Aprillia, D. K. Silalahi, and M. A. F. Rigoursyah, "Desain Sistem On-Grid Energi Terbarukan Skala Rumah Tangga Menggunakan Perangkat Lunak HOMER," *JTIM: Jurnal Teknologi Informasi dan Multimedia*, vol. 1, no. 3, pp. 174-180, 2019.
- [11] J. A. Wurangian, M. Rumbayan, and N. M. Tulung, "Perancangan Solar Home System Menggunakan HOMER," presented at the Seminar Nasional Pengabdian Kepada Masyarakat UNDIP 2020, vol. 1, no. 1, 2020.
- [12] J. Windarta, "Studi Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) dengan Sistem on Grid untuk Supply Listrik pada Lingkungan Bank Perkreditan Rakyat Pedesaan di BPR BKK Mandiraja Cabang Wanayasa Kabupaten Banjarnegara ditinjau dari Teknis dan Ekonomi Teknik," presented at the Seminar Nasional Pengabdian Kepada Masyarakat UNDIP 2020, vol. 1, no. 1, 2020.
- [13] M. Otong, A. Alimuddin, and I. Mas'ud, "Optimasi Kapasitas Pembangkit Listrik Tenaga Hibrida Menggunakan Homer di Pulau Tunda," *Jurnal SETRUM*, vol. 6, no. 1, pp. 1-13, 2017.
- [14] A. Soba, V. A. Suoth, and H. S. Kolibu, "Optimasi Kapasitas Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid (PLTH) di Pulau Bunaken Menggunakan Software HOMER," *Jurnal MIPA*, vol. 8, no. 1, pp. 7-12, 2019.
- [15] S. Ma'arif, E. A. Setiawan, and A. S. Pamitran, "Integration of fisheries technology with solar PV technology in three area of Indonesia," in *AIP Conference Proceedings*, vol. 2255, no. 1. AIP Publishing, 2020.
- [16] M. Reza, *Studi Kelayakan Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid Di Pelabuhan Perikanan Pantai (Ppp) Morodemak Dengan Menggunakan Software HOMER*. M.S. thesis, Universitas Sultan Agung, 2021.
- [17] A. N. T. Tambunan, *Desain Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) sebagai Catu Daya Aerator Resun LP60 untuk Kolam Bioflok Ikan Nila Menggunakan Software HOMER*. M.S. thesis, UNIMED, 2021.
- [18] A. Setiyono, *Pemanfaatan Panel Surya Sebagai Penerangan Pada Budi Daya Ikan Di Duku Mertosutan, Kecamatan Godean, Kabupaten Sleman*. M.S. thesis, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta, 2023.
- [19] *Global Wind Atlas*, accessed from: <https://globalwindatlas.info/en/area/Indonesia>
- [20] B. Hermansyah, A. Rahmawati, and B. Barokah, "Desain Dan Optimisasi Stand Alone Pv Panel System Untuk Budidaya Udang Vannamei Pada Kolam Bundar Di Kabupaten Lombok Utara," *Jurnal Bluefin Fisheries*, vol. 3, no. 2, pp. 8-14, 2022.
- [21] C. Cooney, R. Byrne, W. Lyons, and F. O'Rourke, "Performance characterisation of a commercial-scale wind turbine operating in an urban environment, using real data," *Energy for Sustainable Development*, vol. 36, pp. 44-54, 2017.
- [22] *Trading Economics Indonesia*, accessed from: <https://id.tradingeconomics.com>
- [23] *HOMER Pro*, accessed from: <https://homerenergy.com>

### **Ucapan penghargaan**

Ucapan terimakasih ditujukan kepada Prof. Amiral Azis, selaku Koordinator Kelompok Riset Energi Angin pada Pusat Riset Konversi dan Konservasi Energi, Organisasi Riset Energi dan Material, Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN) atas bimbingan dan arahannya sehingga penelitian ini berjalan lancar.

### **Pernyataan Penulis**

Penulis menyatakan tidak ada konflik kepentingan dalam publikasi artikel ini. Semua penulis menyetujui penerbitan artikel ini.