

**ANALISIS POTENSI ENERGI ANGIN SEBAGAI SUMBER
PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA BAYU
DI TAMBAK IKAN DESA JAMBU KECAMATAN PAJO
KABUPATEN DOMPU**

**ANALYSIS OF WIND ENERGY POTENTIAL AS A SOURCE OF
WIND POWER GENERATION IN FISH PONDS, JAMBU VILLAGE, PAJO DISTRICT,
DOMPU REGENCY**

Muh. Faisal Pratama¹, Ir. I Made Ari Nrartha, S.T., M.T.², Dr. Ida Ayu Sri Adnyani, S.T., M. Erg.

¹Jurusan Teknik Elektro Universitas Mataram

Jl. Majapahit no. 62, Mataram, Lombok, NTB, Indonesia

[¹pratamamuhfaisal@gmail.com](mailto:pratamamuhfaisal@gmail.com), [²ari.nrartha@gmail.com](mailto:ari.nrartha@gmail.com), [³adnyani70@yahoo.co.id](mailto:adnyani70@yahoo.co.id)

ABSTRAK

Energi angin adalah salah satu jenis Energi Baru Terbarukan. Pembangkit Listrik Tenaga Bayu dan pembangkit listrik dari sumber energi baru terbarukan lain kedepannya diharapkan dapat mengurangi ketergantungan terhadap energi fosil yang merupakan sumber bahan bakar pembangkit listrik utama di Indonesia. Letak geografis Kabupaten Dompus memiliki potensi untuk dibangun sebuah pembangkit listrik tenaga angin. Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan kecepatan angin di lokasi tambak ikan Desa Jambu Kabupaten Dompus, mendapatkan ukuran turbin, mendapatkan total energi yang dihasilkan dari tipe dan ukuran turbin angin yang tepat serta mendapatkan total biaya pembangunan PLTB di lokasi tambak ikan Desa Jambu. Proses penelitian dilakukan dengan pengukuran angin secara langsung dengan anemometer, kemudian mensimulasikan data ke dalam software HOMER untuk mendapatkan biaya pembangunan dan listrik yang dihasilkan, yaitu Rp. 562,138,500. sehingga sangat cocok untuk dibangun PLTB skala kecil dan menengah untuk membantu memenuhi permintaan listrik di tambak ikan Desa Jambu, Kabupaten Dompus.

Kata kunci : Angin, anemometer, HOMER, PLTB

ABSTRACT

Wind energy is a type of New Renewable Energy. The Wind Power Plant and electricity generation from other new and renewable energy sources, in the future, are expected to reduce dependence on fossil energy which is the main source of fuel for electricity generation in Indonesia. The geographical location of Dompus Regency has the potential to build a wind power plant. This research aims to obtain wind speed at the Jambu Village fish pond location, Dompus Regency, obtain the size of the turbine, obtain the total energy produced from the correct type and size of wind turbine and obtain the total cost of building a PLTB at the Jambu Village fish pond location. The research process was carried out by measuring the wind directly with an anemometer, then simulating the data into the HOMER software to obtain the construction costs and electricity produced, namely Rp. 562,138,500. so it is very suitable for building small and medium scale PLTBs to help meet electricity demand in the fish ponds of Jambu Village, Dompus Regency.

Keywords: Wind, anemometer, HOMER, Wind Farm

PENDAHULUAN

Energi angin adalah salah satu jenis Energi Baru Terbarukan (EBT). Energi terbarukan berasal dari sumber-sumber yang bersih, tidak menghasilkan emisi karbon dan dapat diperbarui. EBT disediakan oleh alam tanpa ada batasan dan tidak akan pernah habis. Contoh lainnya dari EBT selain angin adalah energi air, panas bumi, matahari, biogas, bio massa, gelombang laut dan sebagainya. Potensi energi angin diberbagai daerah sangat bervariasi karena dipengaruhi oleh ketinggian dan juga letak geografis.

Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) dan pembangkit listrik dari sumber energi baru terbarukan lain, kedepannya diharapkan dapat mengurangi ketergantungan terhadap energi fosil yang merupakan sumber bahan bakar pembangkit listrik utama di Indonesia. Energi fosil masih mendominasi sumber pembangkit listrik yaitu sekitar 87 % menurut data dari Dewan Energi Nasional tahun 2022.

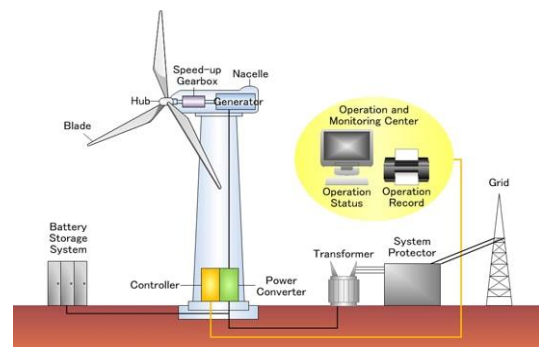
Agar energi angin bisa menghasilkan energi listrik, perlu sebuah Sistem Konversi Energi Angin (SKEA), merupakan perangkat yang dapat mengkonversi energi angin dalam bentuk energi mekanik atau torsi sehingga rotor turbin angin dapat memutar generator agar dapat menghasilkan listrik. Sistem konversi energi angin ke dalam energi listrik disebut turbin angin (*wind turbine*). Tetapi sebelum itu perlu berbagai proses yang dilakukan mulai dari menentukan titik lokasi daerah yang memiliki potensi energi angin yang besar dan melakukan pengukuran kecepatan angin, kemudian data yang didapat akan dianalisis untuk mendapatkan kesimpulan bahwa potensi energi angin di daerah tersebut apakah layak untuk dibangun sebuah Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB).

Salah satu desa di Kecamatan Pajo yaitu Desa Jambu, merupakan desa yang dekat dengan pesisir pantai. Potensi usaha yang ada di Desa Jambu adalah tambak ikan yang luasnya mencapai 159 hektar. Tambak ikan selama ini menggunakan pompa air konvensional yang tidak ramah terhadap lingkungan untuk mengairi tambak ikan. Permintaan beban listrik lain yaitu lampu penerangan untuk menerangi tambak ikan sehingga dapat memaksimalkan produksi ikan. Berdasarkan informasi dari *wind atlas* potensi energi angin di tambak ikan tersebut sebesar 2 m/s – 3 m/s sehingga dapat dibangun pembangkit listrik tenaga angin

skala kecil maupun skala menengah. Lokasi tersebut belum dialiri oleh jaringan listrik PLN, maka dari itu perlu dilakukan analisis potensi energi angin untuk menentukan dan mengukur potensi angin serta daya listrik yang dihasilkan sebagai tahapan awal pembangunan PLTB, sehingga dapat memenuhi kebutuhan listrik masyarakat di tambak ikan Desa Jambu.

Pembangkit Listrik Tenaga Bayu

Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) adalah sebuah fasilitas pembangkit listrik yang menggunakan angin sebagai sumber energi utamanya. Biasanya, energi angin digunakan untuk menggerakkan sebuah turbin. Energi angin akan diubah menjadi energi mekanik atau torsi untuk menggerakkan rotor turbin yang terhubung dengan generator. Dengan demikian, generator akan menghasilkan energi listrik. Energi listrik yang dihasilkan oleh generator akan dikirim dan disalurkan untuk memenuhi kebutuhan pengguna. Cara kerja dari PLTB dapat dilihat dalam ilustrasi pada Gambar 1



Gambar 1 Sistem Kerja PLTB

Energi yang dihasilkan turbin karena kecepatan angin yang memutar baling-baling turbin merupakan perkalian masa aliran udara (kg/s) dengan v yang dikuadratkan atau lebih jelasnya dapat dilihat pada Persamaan 2.1 (Abdullah & Nurdin, 2016).

$$E = 1/2 m.v^2 \dots\dots\dots(1)$$

Keterangan

E : Energi kinetik (joule)

m : masa udara (kg/s)

v : kecepatan angin (m/s)

Jika suatu blok udara atau baling-baling turbin angin mempunyai luas sapuan turbin A (m^2) dan akan bergerak dengan kecepatan v (m/s), maka akan diketahui jumlah massa

udara yang mengalir tiap detiknya jika menggunakan persamaan 2 (Widyanto et al., 2018).

$$m = A \cdot v \cdot \rho \dots\dots\dots(2)$$

keterangan

A : Luas area (m²)

ρ : kerapatan udara (1,293 kg/m³)

Persamaan 1 dan 2 dapat dihitung besar daya listrik berdasarkan besar energi angin menggunakan persamaan 3.

$$P = \frac{1}{2} \cdot A \cdot \rho \cdot v^3 \dots\dots\dots(3)$$

Keterangan

P : Energi per satuan waktu (watt)

A : luas penampang (m²)

ρ : kerapatan udara (kg/m³)

v : kecepatan angin (m/s)

Untuk mendapatkan daya listrik yang dihasilkan dari turbin menggunakan persamaan 4.

$$P = \frac{1}{2} \cdot C \cdot \rho \cdot A \cdot v^3 \dots\dots\dots(4)$$

Keterangan

P : energi yang dihasilkan turbin (kW)

C : konstanta Betz (59,3%)

A : luas sapuan turbin (m²)

v : kecepatan angin (m/s)

Pengukuran Kecepatan Angin untuk Turbin Angin.

Kecepatan adalah nilai acuan paling penting dalam mengetahui energi keluaran turbin angin. Hal tersebut selalu diremehkan oleh pabrikan dan selalu disalahartikan oleh konsumen, yang beranggapan bahwa rated energi turbin angin hanya bekerja pada kecepatan tertentu, yang dikenal sebagai kecepatan yang dirata-ratakan. Kecepatan putar turbin angin dibedakan menjadi empat tahap yang berbeda, yaitu :

1. *Start-up Speed* adalah kecepatan rotor suatu turbin angin mulai berputar;
2. *Cut-in Speed* dimana turbin mulai menghasilkan energi minimum berdasarkan kecepatan angin minimum. Kecepatan angin ini umumnya antara 2 sampai 4,5 m/s untuk sebagian besar turbin angin skala kecil maupun menengah;
3. *Rated Speed* merupakan kecepatan angin minimum dimana turbin angin akan

menghasilkan energi rata-rata keluaran turbin ;

4. *Cut-out Speed* adalah batas maksimum kecepatan putar turbin angin dimana turbin akan *shut down* atau *brake* untuk melindungi turbin dari kerusakan. Peristiwa ini kadang juga disebut kecepatan *furling* (Shemmeri, 2014).

HOMER

HOMER adalah sebuah perangkat lunak yang dikenal sebagai Hibrida Optimasi Model untuk Energi Terbarukan, memiliki fungsi untuk memodelkan sistem tenaga listrik dengan mempertimbangkan berbagai pilihan sumber daya energi terbarukan. HOMER melakukan simulasi dan meningkatkan efisiensi sistem generator listrik, baik yang tidak terhubung ke jaringan (*off-grid*) maupun yang terhubung ke jaringan (*on-grid*). Pembangkitnya terdiri dari kombinasi antara turbin angin, mikrohidro, photovoltaic, biomass dan lain-lain maupun pembangkit tunggal.



Gambar 2 Software HOMER

HOMER menggunakan metode perhitungan Net Present Cost atau NPC untuk menunjukkan total biaya konstruksi dari PLTB selama periode yang telah ditetapkan. Nilai NPC mencakup semua pengeluaran dan hasil yang terjadi selama sistem berjalan, seperti biaya pemeliharaan, penggantian komponen yang melibatkan elemen-elemen dan biaya yang terkait. Nilai NPC mencakup pengeluaran untuk komponen, penggantian komponen, perawatan, biaya bahan bakar, denda emisi, suku bunga tahunan, serta faktor-faktor lainnya, yang dihitung dengan mempertimbangkan tingkat inflasi. Persamaan 5 dapat digunakan untuk menghitung nilai keseluruhan dari NPC (*Homer Help Manual book, 2015*).

$$NPC = \frac{C_{ann,tot}}{CRF(i, R_{proj})} \dots\dots\dots (5)$$

Keterangan

- $C_{ann,tot}$ = total biaya tahunan (\$/yr)
- CRF = faktor penutupan modal
- i = suku bunga (%)
- R_{proj} = lama waktu suatu proyek
- N = Jumlah tahun

Kemudian untuk menghitung biaya operational PLTB (\$/Tahun) menggunakan persamaan 6 (*Homer Help Manual book, 2015*).

$$C_{operating} = C_{ann,tot} - C_{ann,cap} \dots\dots\dots (6)$$

Keterangan

- $C_{ann,tot}$ = total biaya tahunan
- $C_{ann,cap}$ = total biaya modal (\$/yr).

Sedangkan faktor penutupan modal bisa didapatkan dengan menggunakan Persamaan 7 (*Homer Help Manual book, 2015*).

$$CRF(i, N) = \frac{i(1+i)^N}{(1+i)^N - 1} \dots\dots\dots (7)$$

Keterangan

- i = Suku bunga (%)
- N = Jumlah tahun

Kemudian Cost of Energy (COE) merupakan biaya rata-rata energi listrik yang harus dibayar per kWh, ketika sistem suatu PLTB menghasilkan energi listrik. Besarnya COE dapat dihitung dari total *annualized cost* dibagi dengan besarnya *consumption energy* (kWh/yr). Untuk mendapatkan nilai COE energi listrik tahunan harus dibagi dengan total energi listrik terpakai yang diproduksi menggunakan Persamaan 8 (*Homer Help Manual book, 2015*).

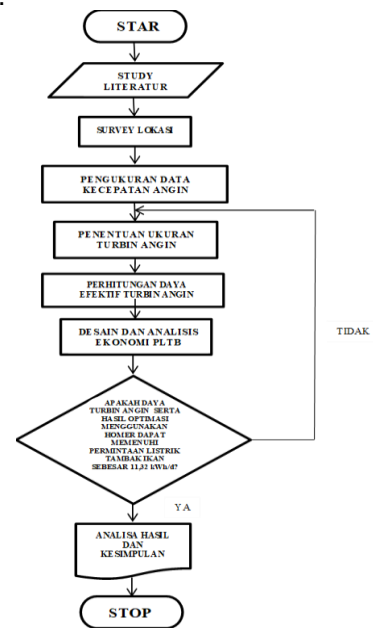
$$COE = \frac{C_{ann,tot} - C_{boiler} H_{served}}{E_{served}} \dots\dots\dots (8)$$

Keterangan

- C_{boiler} = boiler marginal cost (\$/kWh)
- H_{served} = total beban termal yang dilayani
- E_{served} = total beban listrik yang dilayani

METODOLOGI PENELITIAN

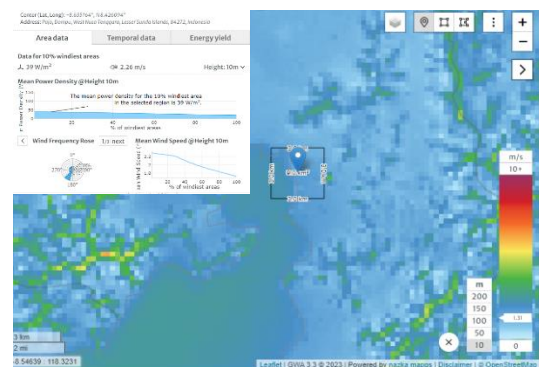
Metode penelitian yang akan dilaksanakan yaitu mulai dari studi literatur, survey lokasi, pengukuran data kecepatan angin, penentuan jenis turbin angin, perhitungan daya efektif turbin angin, desain dan analisis ekonomi PLTB, menganalisis hasil dan kesimpulan. Metode penelitian akan dijelaskan dalam bentuk flowchart pada Gambar 3.



Gambar 3 Flowchart penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Data Kecepatan Angin Desa Jambu dari Wind Atlas



Gambar 5 Study literatur pada wind atlas

Berdasarkan hasil studi literatur dari situs wind atlas, pada Gambar 5 didapatkan bahwa kecepatan angin di lokasi tambak ikan Desa Jambu sesuai dengan koordinat lokasi pada Tabel 3.1 adalah 2,26 m/s

dengan kerapatan daya 39 watt/m² pada ketinggian 10 meter. Kemudian hasil survey lokasi penelitian dapat dilihat pada Gambar 6



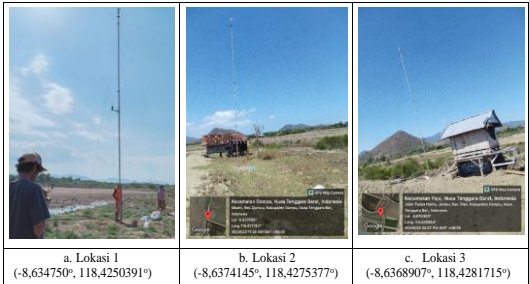
Gambar 6 Survey lokasi penelitian

Berdasarkan hasil survey lokasi didapatkan bahwa tambak ikan menggunakan pompa air konvensional berbahan bakar minyak untuk mengairi tambak seperti yang terlihat pada Gambar 6. Padahal merujuk pada studi literatur yang telah dilakukan bahwa lokasi tambak ikan Desa Jambu memiliki potensi kecepatan angin sebagai pembangkit listrik tenaga angin untuk memenuhi kebutuhan listrik tambak. Berdasarkan hasil wawancara dengan masyarakat di lokasi tambak ikan Desa Jambu, bahwa mereka membutuhkan listrik untuk penerangan tambak ikan dan untuk memenuhi kebutuhan listrik sehari-hari, seperti menyalakan kipas angin, memasak nasi, menyalakan kulkas, lampu penerangan tambak dan lain sebagainya. Permintaan beban listrik dalam 1 tambak ikan lebih lengkap dapat dilihat pada Tabel 1

Tabel 1 Permintaan beban listrik dalam 1 tambak ikan.

No	Alat Listrik	Jumlah	Daya Satuan (kW)	Daya Total (kW)	Lama Operasi (jam/hari)	Energi perhari (kWh)	Energi Perbulan (kWh)
1	Pompa air	1	3	3	2	6	180
2	Lampu	5	0.050	0.250	12	3	90
3	Kipas angin	1	0.045	0.045	5	0.225	6.75
4	Freezer	1	0.100	0.100	12	1.2	36
5	Rice cooker	1	0.300	0.300	3	0.900	27
Total			3.725			11.325	339.75

Hasil Pengukuran Kecepatan Angin



Gambar 7 Lokasi pemasangan tiangpondasi

Lokasi 1

Tabel 2 Hasil pengukuran angin di lokasi 1 hari 1

No	Hari/tanggal	Waktu	Wind (m/s)	kelembaban (%Rh)	Temp. (°C)
1	4 Agustus 2023	7:21	0,9	88	23,1
2	4 Agustus 2023	7:51	0	82	26,1
3	4 Agustus 2023	8:21	0,9	80	25,3
4	4 Agustus 2023	8:51	2,2	76	25,3
5	4 Agustus 2023	9:21	1,3	68	27,3
6	4 Agustus 2023	9:51	1,3	65	27,7
7	4 Agustus 2023	10:21	2,2	64	27,8
8	4 Agustus 2023	10:51	3,1	63	28,2
9	4 Agustus 2023	11:21	3,1	61	29,2
10	4 Agustus 2023	11:51	5,7	71	27,7
11	4 Agustus 2023	12:21	5,7	67	28,2
12	4 Agustus 2023	12:51	4,8	66	28,7
13	4 Agustus 2023	13:21	4,4	66	28,7
14	4 Agustus 2023	13:51	4,8	66	29,2
15	4 Agustus 2023	14:21	4,8	66	29,7
16	4 Agustus 2023	14:51	7	74	28,2
17	4 Agustus 2023	15:21	7,8	77	27,7
18	4 Agustus 2023	15:51	4,8	67	29,2
19	4 Agustus 2023	16:21	3,5	65	28,7
20	4 Agustus 2023	16:51	4,4	72	27,7
21	4 Agustus 2023	17:21	6,6	61	28,7
22	4 Agustus 2023	17:51	4	63	28,2
23	4 Agustus 2023	18:21	1,8	63	28,2
24	4 Agustus 2023	18:51	2,6	68	27,3
25	4 Agustus 2023	19:21	1,8	70	26,9
26	4 Agustus 2023	19:51	1,8	70	26,9
27	4 Agustus 2023	20:21	2,6	76	26,9
28	4 Agustus 2023	20:51	2,6	80	26,1
29	4 Agustus 2023	21:21	0,9	83	26,1
30	4 Agustus 2023	21:51	0	81	26,1
31	4 Agustus 2023	22:21	1,3	81	26,1
32	4 Agustus 2023	22:51	0	83	25,7
33	4 Agustus 2023	23:21	0	85	25,3
34	4 Agustus 2023	23:51	0	86	25
35	5 Agustus 2023	0:21	0,9	85	24,2
36	5 Agustus 2023	0:51	0,9	87	24,2
37	5 Agustus 2023	1:21	0	88	24,2
38	5 Agustus 2023	1:51	0	89	23,8
39	5 Agustus 2023	2:21	0,9	89	23,8
40	5 Agustus 2023	2:51	0	93	23,4
41	5 Agustus 2023	3:21	0	89	23,8
42	5 Agustus 2023	3:51	0	89	23,8
43	5 Agustus 2023	4:21	0	90	23,8
44	5 Agustus 2023	4:51	0	84	23,5
45	5 Agustus 2023	5:21	0	91	23,5
46	5 Agustus 2023	5:51	0	90	23,5
47	5 Agustus 2023	6:21	0	91	23,1
48	5 Agustus 2023	6:51	0	91	22,8
Rata-rata			2,11		

Lokasi 2

Tabel 3 Hasil pengukuran angin di lokasi 2 hari 1

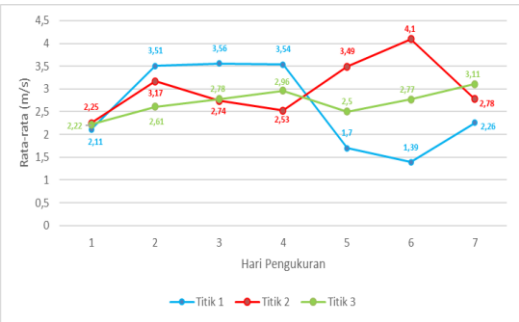
No	Tanggal	Waktu	Wind (m/s)	Kelembaban (%Rh)	Temperatur (°C)
1	15 Agustus 2023	07:22	0	84	24,2
2	15 Agustus 2023	07:52	0,4	85	24,2
3	15 Agustus 2023	08:22	0	77	26,1
4	15 Agustus 2023	08:52	0	66	28,2
5	15 Agustus 2023	09:22	2,6	74	26,5
6	15 Agustus 2023	09:52	2,2	71	27,3
7	15 Agustus 2023	10:22	4,4	66	27,8
8	15 Agustus 2023	10:52	4,4	63	28,2
9	15 Agustus 2023	11:22	4,4	65	28,2
10	15 Agustus 2023	11:52	2,2	70	27,7
11	15 Agustus 2023	12:22	3,5	75	27,3
12	15 Agustus 2023	12:52	3,5	75	27,3
13	15 Agustus 2023	13:22	4,4	72	27,7
14	15 Agustus 2023	13:52	4,8	73	27,7
15	15 Agustus 2023	14:22	6,6	74	27,7
16	15 Agustus 2023	14:52	5,3	75	27,3
17	15 Agustus 2023	15:22	5,3	70	27,8
18	15 Agustus 2023	15:52	6,6	71	27,7
19	15 Agustus 2023	16:22	4,8	71	27,7
20	15 Agustus 2023	16:52	5,7	75	27,3
21	15 Agustus 2023	17:22	6,1	78	26,9
22	15 Agustus 2023	17:52	4,4	78	26,5
23	15 Agustus 2023	18:22	5,7	79	26,5
24	15 Agustus 2023	18:52	4,4	80	26,5
25	15 Agustus 2023	19:22	0,9	73	26,5
26	15 Agustus 2023	19:52	0,9	73	26,1
27	15 Agustus 2023	20:22	1,3	74	26,1
28	15 Agustus 2023	20:52	0	77	25,7
29	15 Agustus 2023	21:22	0,9	78	25,3
30	15 Agustus 2023	21:52	1,8	78	25,3
31	15 Agustus 2023	22:22	1,3	77	25,7
32	15 Agustus 2023	22:52	1,8	78	25,3
33	15 Agustus 2023	23:22	0	81	25
34	15 Agustus 2023	23:52	0	85	24,6
35	16 Agustus 2023	00:22	0	86	23,8
36	16 Agustus 2023	00:52	1,3	88	23,5
37	16 Agustus 2023	01:22	0	89	23,5
38	16 Agustus 2023	01:52	0,9	89	23,1
39	16 Agustus 2023	02:22	0,9	89	22,8
40	16 Agustus 2023	02:52	1,3	91	23,1
41	16 Agustus 2023	03:22	0	90	22,8
42	16 Agustus 2023	03:52	1,3	92	23,1
43	16 Agustus 2023	04:22	0,9	96	22,4
44	16 Agustus 2023	04:52	0	93	23,1
45	16 Agustus 2023	05:22	0,4	96	22,4
46	16 Agustus 2023	05:52	0,4	96	22,1
47	16 Agustus 2023	06:22	0	98	21,7
48	16 Agustus 2023	06:52	0	94	22,8
Rata-rata			2,25		

Lokasi 3

Tabel 4 Hasil pengukuran angin di lokasi 3 hari 1

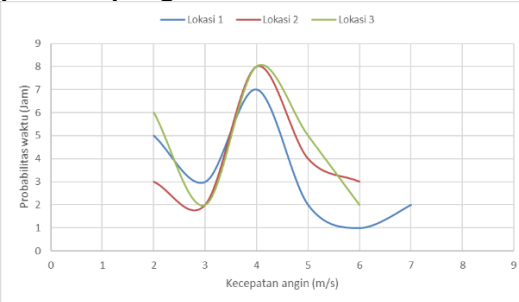
No	Tanggal	Waktu	Wind (m/s)	Kelambaban (%Rh)	Temperatur (°C)
1	31 Agustus 2023	07:20	0	79	24,2
2	31 Agustus 2023	07:50	0,4	69	26,1
3	31 Agustus 2023	08:20	0,9	71	26,1
4	31 Agustus 2023	08:50	3,1	65	27,3
5	31 Agustus 2023	09:20	2,2	64	27,3
6	31 Agustus 2023	09:50	2,6	57	28,7
7	31 Agustus 2023	10:20	4	62	28,2
8	31 Agustus 2023	10:50	5,7	61	27,8
9	31 Agustus 2023	11:20	4,4	58	28,7
10	31 Agustus 2023	11:50	5,3	57	28,7
11	31 Agustus 2023	12:20	5,7	58	29,7
12	31 Agustus 2023	12:50	4	54	30,2
13	31 Agustus 2023	13:20	4,4	55	30,2
14	31 Agustus 2023	13:50	4	54	29,8
15	31 Agustus 2023	14:20	5,3	54	29,7
16	31 Agustus 2023	14:50	6,1	53	30,2
17	31 Agustus 2023	15:20	4,8	50	29,8
18	31 Agustus 2023	15:50	4	49	30,3
19	31 Agustus 2023	16:20	4	56	29,7
20	31 Agustus 2023	16:50	5,7	58	28,2
21	31 Agustus 2023	17:20	6,1	64	27,3
22	31 Agustus 2023	17:50	0,9	51	27,8
23	31 Agustus 2023	18:20	3,5	57	27,3
24	31 Agustus 2023	18:50	2,6	60	26,5
25	31 Agustus 2023	19:20	2,2	63	25,3
26	31 Agustus 2023	19:50	2,2	65	25,7
27	31 Agustus 2023	20:20	1,3	66	25,3
28	31 Agustus 2023	20:50	0,4	68	25
29	31 Agustus 2023	21:30	0	73	24,2
30	31 Agustus 2023	21:50	1,8	74	23,5
31	31 Agustus 2023	22:20	1,8	71	22,7
32	31 Agustus 2023	22:50	1,3	70	22,7
33	31 Agustus 2023	23:20	0	69	22,7
34	31 Agustus 2023	23:50	0	75	22,4
35	1 September 2023	00:20	0	77	22,1
36	1 September 2023	00:50	2,2	75	21,7
37	1 September 2023	01:20	0,9	77	22,1
38	1 September 2023	01:50	1,3	81	22,1
39	1 September 2023	02:30	0	84	21,4
40	1 September 2023	02:50	0,9	85	20,8
41	1 September 2023	03:20	0,9	85	20,8
42	1 September 2023	03:50	0	81	19,3
43	1 September 2023	04:20	0	84	19
44	1 September 2023	04:50	0	85	19
45	1 September 2023	05:20	0	87	19,3
46	1 September 2023	05:50	0	89	19
47	1 September 2023	06:20	0	85	18,7
48	1 September 2023	06:50	0	85	19,5
Rata-rata			2,22		

Perbandingan rata-rata kecepatan angin di lokasi pengukuran 1,2 dan 3



Gambar 8 Grafik perbandingan rata-rata kecepatan angin di 3 lokasi

Distribusi Weibull di Lokasi 1,2 dan 3 hari pertama pengukuran



Gambar 9 Grafik distribusi Weibull di 3 lokasi pengukuran

Penentuan Jenis dan Energi yang Dihasilkan Turbin Angin

Tabel 5 Karakteristik turbin angin horizontal

Generator	Type	Permanent Magnet
	Power	5 kW
Rotor	Tegangan Output	120V/220V/240V
	Configuration	Horizontal
	Blades	3
	Blade Material	Aluminium alloy
	Rotor Diameter	6,3 m
Wind	Swept Area	31,15 m ²
	Cut-In Speed	2 m/s
	Rated Wind Speed	10 m/s
	Survival Speed	45 m/s
Weights	Nacelle/Rotor	285 kg
Towers	Latticed Tower	10 m
Design Parameters	Temperature Range	-40°C to 80°C
	Garansi	1 years

Daya yang Dihasilkan Turbin angin

• Lokasi 1

Diketahui : C = 0,59

$$\rho = 1,2 \text{ kg/m}^3$$

$$A = 31,15 \text{ m}^2 \text{ (Tabel 4.11)}$$

$$v = 7,9 \text{ m/s}$$

$$P = ? \text{ kW}$$

$$P = \frac{1}{2} \cdot C \cdot \rho \cdot A \cdot v^3$$

$$= \frac{1}{2} \cdot 0,59 \cdot 1,2 \cdot 31,15 \cdot 7,9^3$$

$$= 5,436 \text{ kW}$$

Tabel 6 Hasil perhitungan daya turbin angin di lokasi 1 selama 24 jam

No	Hari/tanggal	Waktu	Wind (m/s)	Daya Efektif (kW)	Energi Turbin (kW)
1	4-Aug-23	7:21	0,9	0	
2	4-Aug-23	7:51	0	0	
3	4-Aug-23	8:21	0,9	0	
4	4-Aug-23	8:51	2,2	0,117	
5	4-Aug-23	9:21	1,3	0	
6	4-Aug-23	9:51	1,3	0	
7	4-Aug-23	10:21	2,2	0,117	0,117
8	4-Aug-23	10:51	3,1	0,328	
9	4-Aug-23	11:21	3,1	0,328	0,328
10	4-Aug-23	11:51	5,7	2,042	
11	4-Aug-23	12:21	5,7	2,042	2,042
12	4-Aug-23	12:51	4,8	1,219	
13	4-Aug-23	13:21	4,4	0,939	0,939
14	4-Aug-23	13:51	4,8	1,219	
15	4-Aug-23	14:21	4,8	1,219	1,219
16	4-Aug-23	14:51	7	3,782	
17	4-Aug-23	15:21	7,9	5,436	5,436
18	4-Aug-23	15:51	4,8	1,219	
19	4-Aug-23	16:21	3,5	0,472	0,472
20	4-Aug-23	16:51	4,4	0,939	
21	4-Aug-23	17:21	6,6	3,170	3,170
22	4-Aug-23	17:51	4	0,705	
23	4-Aug-23	18:21	1,8	0	
24	4-Aug-23	18:51	2,6	0,193	
25	4-Aug-23	19:21	1,8	0	
26	4-Aug-23	19:51	1,8	0	
27	4-Aug-23	20:21	2,6	0,1938	0,193
28	4-Aug-23	20:51	2,6	0,1938	
29	4-Aug-23	21:21	0,9	0	
30	4-Aug-23	21:51	0	0	
31	4-Aug-23	22:21	1,3	0	
32	4-Aug-23	22:51	0	0	
33	4-Aug-23	23:21	0	0	
34	4-Aug-23	23:51	0	0	
35	5-Aug-23	0:21	0,9	0	
36	5-Aug-23	0:51	0,9	0	
37	5-Aug-23	1:21	0	0	
38	5-Aug-23	1:51	0	0	
39	5-Aug-23	2:21	0,9	0	
40	5-Aug-23	2:51	0	0	
41	5-Aug-23	3:21	0	0	
42	5-Aug-23	3:51	0	0	
43	5-Aug-23	4:21	0	0	
44	5-Aug-23	4:51	0	0	
45	5-Aug-23	5:21	0	0	
46	5-Aug-23	5:51	0	0	
47	5-Aug-23	6:21	0	0	
48	5-Aug-23	6:51	0	0	
Total				26,195	13,916

• Lokasi 2

Tabel 7 Hasil perhitungan daya turbin angin di lokasi 2 selama 24 jam

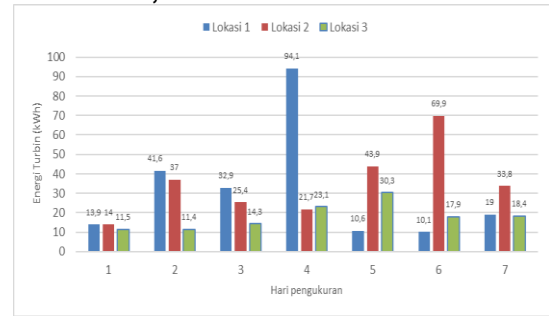
No	Tanggal	Waktu	Wind (m/s)	Daya Efektif (kW)	Energi Turbin (k
1	15-Aug-2023	7:22	0	0	
2	15-Aug-2023	7:52	0.4	0	
3	15-Aug-2023	8:22	0	0	
4	15-Aug-2023	8:52	0	0	
5	15-Aug-2023	9:22	2.6	0,193	0,193
6	15-Aug-2023	9:52	2.2	0,117	
7	15-Aug-2023	10:22	4.4	0,939	0,939
8	15-Aug-2023	10:52	4.4	0,939	
9	15-Aug-2023	11:22	4.4	0,939	0,939
10	15-Aug-2023	11:52	2.2	0,117	
11	15-Aug-2023	12:22	3.5	0,472	0,472
12	15-Aug-2023	12:52	3.5	0,472	
13	15-Aug-2023	13:22	4.4	0,939	0,939
14	15-Aug-2023	13:52	4.8	1,219	
15	15-Aug-2023	14:22	6.6	3,170	3,170
16	15-Aug-2023	14:52	5.3	1,641	
17	15-Aug-2023	15:22	5.3	1,641	1,641
18	15-Aug-2023	15:52	6.6	3,170	
19	15-Aug-2023	16:22	4.8	1,219	1,219
20	15-Aug-2023	16:52	5.7	2,042	
21	15-Aug-2023	17:22	6.1	2,502	2,502
22	15-Aug-2023	17:52	4.4	0,939	
23	15-Aug-2023	18:22	5.7	2,042	2,042
24	15-Aug-2023	18:52	4.4	0,939	
25	15-Aug-2023	19:22	0.9	0	0
26	15-Aug-2023	19:52	0.9	0	0
27	15-Aug-2023	20:22	1.3	0	0
28	15-Aug-2023	20:52	0	0	0
29	15-Aug-2023	21:22	0.9	0	0
30	15-Aug-2023	21:52	1.8	0	0
31	15-Aug-2023	22:22	1.3	0	0
32	15-Aug-2023	22:52	1.8	0	0
33	15-Aug-2023	23:22	0	0	0
34	15-Aug-2023	23:52	0	0	0
35	16-Aug-2023	0:22	0	0	0
36	16-Aug-2023	0:52	1.3	0	0
37	16-Aug-2023	1:22	0	0	0
38	16-Aug-2023	1:52	0.9	0	0
39	16-Aug-2023	2:22	0.9	0	0
40	16-Aug-2023	2:52	1.3	0	0
41	16-Aug-2023	3:22	0	0	0
42	16-Aug-2023	3:52	1.3	0	0
43	16-Aug-2023	4:22	0.9	0	0
44	16-Aug-2023	4:52	0	0	0
45	16-Aug-2023	5:22	0.4	0	0
46	16-Aug-2023	5:52	0.4	0	0
47	16-Aug-2023	6:22	0	0	0
48	16-Aug-2023	6:52	0	0	0
Total Daya				25,960	14,061

• Lokasi 3

Tabel 8 Hasil perhitungan daya turbin angin di lokasi 3 selama 24 jam

No	Tanggal	Waktu	Wind (m/s)	Daya Efektif (kW)	Energi Turbin (kW)
1	31-Aug-2023	7:20	0	0	
2	31-Aug-2023	7:50	0.4	0	
3	31-Aug-2023	8:20	0.9	0	
4	31-Aug-2023	8:50	3.1	0,328	0,328
5	31-Aug-2023	9:20	2.2	0,117	
6	31-Aug-2023	9:50	2.6	0,193	0,193
7	31-Aug-2023	10:20	4	0,705	
8	31-Aug-2023	10:50	5.7	2,042	2,042
9	31-Aug-2023	11:20	4.4	0,939	
10	31-Aug-2023	11:50	5.3	1,641	1,641
11	31-Aug-2023	12:20	5.7	2,042	
12	31-Aug-2023	12:50	4	0,705	0,705
13	31-Aug-2023	13:20	4.4	0,939	
14	31-Aug-2023	13:50	4	0,705	0,705
15	31-Aug-2023	14:20	5.3	1,641	
16	31-Aug-2023	14:50	6.1	2,502	2,502
17	31-Aug-2023	15:20	4.8	1,219	
18	31-Aug-2023	15:50	4	0,705	0,705
19	31-Aug-2023	16:20	4	0,705	
20	31-Aug-2023	16:50	5.7	2,042	2,042
21	31-Aug-2023	17:20	6.1	2,502	
22	31-Aug-2023	17:50	0.9	0	
23	31-Aug-2023	18:20	3.5	0,472	
24	31-Aug-2023	18:50	2.6	0,193	0,193
25	31-Aug-2023	19:20	2.2	0,117	
26	31-Aug-2023	19:50	2.2	0,117	0,117
27	31-Aug-2023	20:20	1.3	0	
28	31-Aug-2023	20:50	0.4	0	
29	31-Aug-2023	21:20	0	0	
30	31-Aug-2023	21:50	1.8	0	
31	31-Aug-2023	22:20	1.8	0	
32	31-Aug-2023	22:50	1.3	0	
33	31-Aug-2023	23:20	0	0	
34	31-Aug-2023	23:50	0	0	
35	1-Sep-2023	0:20	0	0	
36	1-Sep-2023	0:50	2.2	0,117	0,117
37	1-Sep-2023	1:20	0.9	0	
38	1-Sep-2023	1:50	1.3	0	
39	1-Sep-2023	2:20	0	0	
40	1-Sep-2023	2:50	0.9	0	
41	1-Sep-2023	3:20	0.9	0	
42	1-Sep-2023	3:50	0	0	
43	1-Sep-2023	4:20	0	0	
44	1-Sep-2023	4:50	0	0	
45	1-Sep-2023	5:20	0	0	
46	1-Sep-2023	5:50	0	0	
47	1-Sep-2023	6:20	0	0	
48	1-Sep-2023	6:50	0	0	
Total				22,701	11,576

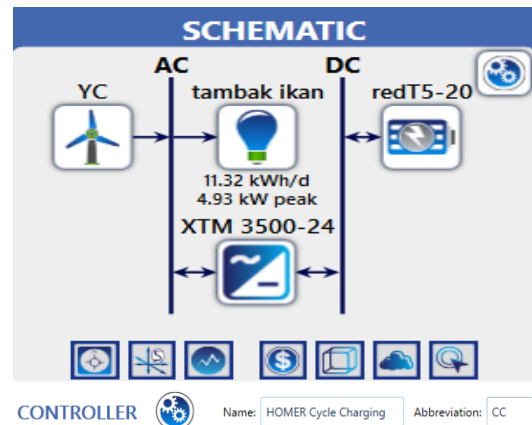
Perbandingan Total Energi Turbin Angin di Lokasi 1,2 dan 3





Gambar 10 Grafik perbandingan total daya turbin lokasi 1,2, dan 3

Berdasarkan Gambar 10 grafik perbandingan total energi yang dihasilkan turbin angin horizontal pada lokasi 1, 2, dan titik 3 selama 7 hari pengukuran secara langsung di lokasi penelitian, didapatkan hasil total energi paling besar terjadi di lokasi 1 yaitu 94,1 kWh pada hari ke 4 pengukuran. Kemudian daya terendah yang dihasilkan turbin adalah 10,1 kWh yang juga terjadi di lokasi 1 pada hari ke 5 pengukuran.

Desain dan Analisis Ekonomi PLTB



Gambar 11 Desain sistem PLTB menggunakan HOMER

Export...		Export Details...		Optimization Results						
				Left Double Click on a particular system to see its detailed Simulation Results						
Architecture				Cost			System			
	YC 5 kW	redT5-20 (P)	XTM 3500-24 (kW)	Dispatch	NPC (Rp)	LCOE (Rp/kWh)	Operating cost (Rp/yr)	CAPEX (Rp)	Rem Frac (%)	Total Fuel (L/yr)
	3	6	400	CC	Rp582M	Rp4,510	Rp19.4M	Rp201M	100	0

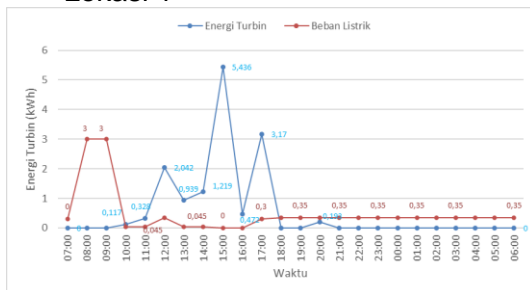
Gambar 12 Hasil simulasi dan Optimasi

Berdasarkan Gambar 12 hasil simulasi dan optimasi Pembangkit Listrik Tenaga Bayu menggunakan software HOMER Pro, menampilkan biaya yang dibutuhkan serta energi yang dihasilkan. Optimasi yang didapatkan melalui simulasi HOMER agar

PLTB mendapatkan hasil perhitungan yang optimal, yaitu sistem PLTB harus menggunakan 3 turbin angin ukuran 5 kW, 6 strip baterai 48 V dengan total 288 V, konverter sebesar 4 kW, dan menggunakan kontroler cycle charging (CC). Biaya yang didapatkan untuk menghasilkan listrik per kWh (LCOE) adalah Rp. 4,510. Biaya operasional sebesar Rp.19,4 juta/tahun, untuk nilai modal awal (CAPEX) pembangun PLTB adalah Rp. 201 juta. Biaya Net Present Cost (NPC) atau biaya keseluruhan komponen untuk pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Bayu di Desa Jambu adalah Rp. 562,138,500

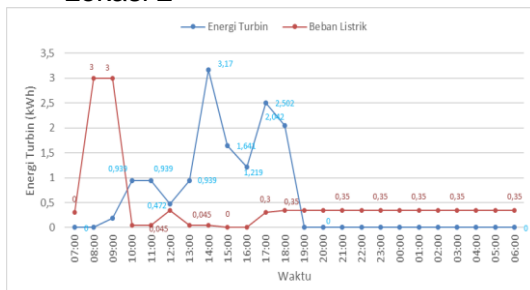
Analisa Energi Turbin dengan Beban Harian

- Lokasi 1



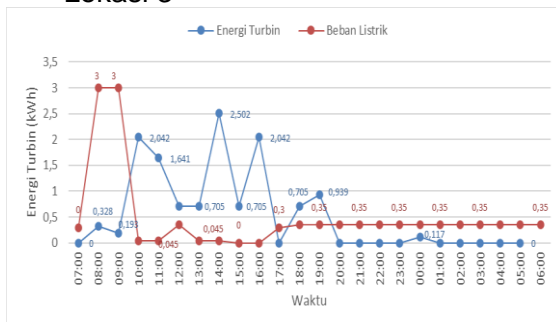
Gambar 13 Grafik perbandingan energi turbin dengan beban listrik lokasi 1 hari 1

- Lokasi 2



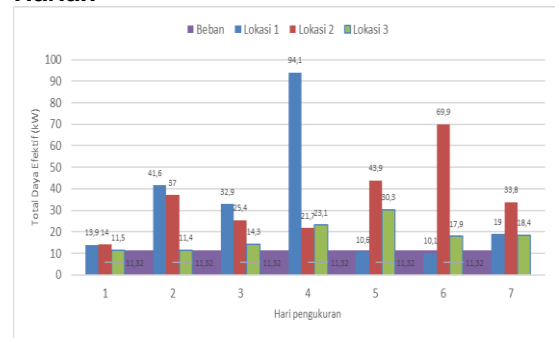
Gambar 14 Grafik perbandingan energi turbin dengan beban listrik lokasi 2 hari 1

- Lokasi 3



Gambar 15 Grafik perbandingan energi turbin dengan beban listrik lokasi 3 hari 1

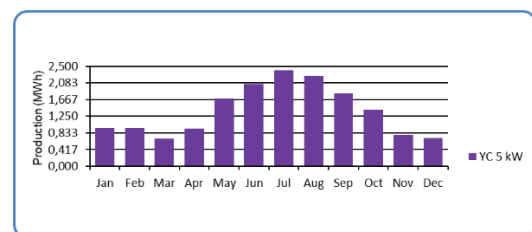
Analisa Energi Turbin dengan Beban Harian



Gambar 16 Grafik hubungan beban listrik dengan energi turbin

Berdasarkan Gambar 16 grafik hubungan energi yang dihasilkan turbin angin dengan permintaan beban listrik tambak ikan dalam kurun waktu 7 hari, permintaan beban listrik tambak ikan diasumsikan konstan selama 7 hari pengukuran sesuai dengan kebutuhan masyarakat di tambak ikan Desa Jambu yaitu 11,32 kWh. Permintaan beban listrik masyarakat di tambak ikan Desa Jambu dapat terpenuhi pada hari ke 1,2,3,4 dan 7 di semua lokasi pengukuran. Sedangkan energi listrik yang dihasilkan tidak dapat memenuhi kebutuhan operasional tambak ikan di hari ke 5 dan 6 di lokasi 1, sedangkan di lokasi 2 dan 3 mampu terpenuhi kebutuhan listriknya.

Analisa Hasil Simulasi Homer



Gambar 17 Grafik produksi listrik PLTB

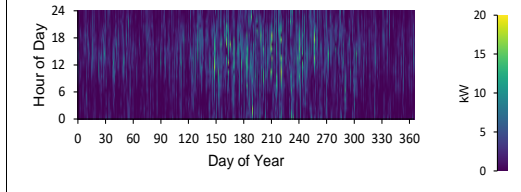
Berdasarkan Gambar 17 grafik produksi listrik tertinggi terjadi pada bulan juli dengan besar daya listrik yang diproduksi sebesar 2,40 MWh dan produksi listrik terendah terjadi pada bulan maret sebesar 695 kWh. Untuk konsumsi listrik masyarakat tambak ikan di Desa Jambu hanya mencapai 11,35 kWh perhari atau 339 kWh/bulan untuk 1 tambak ikan. Listrik yang dihasilkan oleh PLTB tersebut mampu mensuplai hingga 3 tambak ikan milik masyarakat dengan beban yang sama pada puncak produksi listrik yaitu pada bulan juli. Kemudian pada bulan maret

hanya mampu mensuplai 1 tambak ikan milik masyarakat.

- **Engineering Details**

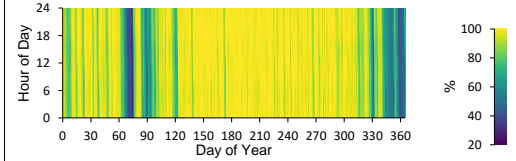
Tabel 9 Detail teknis Turbin angin

Quantity	3	Rated Capacity	15,3 kW
Wind Turbine Total Production	16,673 kWh/yr	Hours of Operation	6,930 hrs/yr
Capital Cost	Rp97,6 Juta	Maintenance Cost	6,90 juta/yr
Wind Turbine Lifetime	20.0 years		



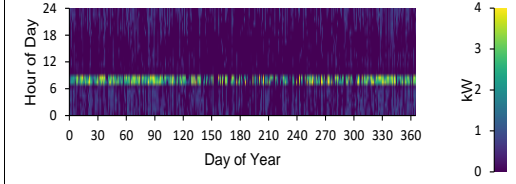
Tabel 10 Detail teknis baterai

Rated Capacity	120 kWh	Expected Life	25 yr
Annual Throughput	3,263 kWh/yr	Capital Costs	Rp47,7 Juta
Maintenance Cost	3,000,000 Rp/yr	Losses	933 kWh/yr
Autonomy	141 hr		



Tabel 11 Detail teknis konverter

4	4 kW	Hours of Operation	3,355 hrs/yr
Mean Output	0,303 kW	Energy Out	2,656 kWh/yr
Minimum Output	0 kW	Energy In	2,826 kWh/yr
Maximum Output	4 kW	Losses	170 kWh/yr
Capacity Factor	7,58 %		



- **Analisis Proses Pengisian Baterai**



Gambar 19 Time series detail harian

Berdasarkan Gambar 19 grafik detail time series antara turbin angin, beban listrik

dan baterai yang digunakan dapat dilihat ketika tambak membutuhkan listrik sebesar 3,68 kW pada jam 08:00 WITA dan turbin angin hanya mampu menghasilkan energi sebesar 0,43 kW akibat ketidaktersediaan angin, sehingga beban listrik tambak ikan akan disuplai oleh baterai dengan mengeluarkan energi sebesar -3,46 kW. Setelah angin berhembus dan turbin angin menghasilkan energi listrik maka beban listrik akan mulai disuplai oleh turbin angin, dan energi yang dihasilkan turbin juga akan digunakan untuk mengisi baterai.

KESIMPULAN

Analisis potensi energi angin sebagai sumber energi pembangkit listrik tenaga bayu di Desa Jambu dengan metode pengukuran kecepatan angin secara langsung, serta menggunakan software HOMER untuk mensimulasikan dan mengoptimasi sistem PLTB. Maka dalam penelitian ini dapat disimpulkan bahwa :

1. Potensi kecepatan angin di Desa Jambu yang telah diukur secara langsung selama tiga minggu di tiga lokasi yang berbeda, didapatkan hasil data kecepatan angin pada lokasi 1 paling tinggi, dengan kecepatan angin 13,2 m/s di hari ke 4 pengukuran. Kemudian pada lokasi 2 memiliki kecepatan angin tertinggi di hari ke 6 pengukuran yaitu 11 m/s, dan untuk lokasi 3 memiliki kecepatan angin paling tinggi yang terjadi pada hari ke 4 dan hari ke 7 dengan kecepatan angin 8,8 m/s.
2. Turbin angin horizontal yang digunakan memiliki baling-baling anti korosive dan sangat cocok untuk lokasi yang dekat dengan pantai. Luas sapuan turbin angin tersebut sebesar 31,15 m². Harga turbin horizontal di pasaran sekitar Rp. 32,536,035 dengan biaya perawatan menurut Canada Wind Energy Association untuk jenis turbin angin skala kecil adalah sekitar Rp. 2,300,000/tahun, memiliki masa operasi hingga 20 tahun dan untuk rata-rata kapasitas dari turbin angin tersebut sebesar 5 kW dengan tinggi 10 meter. Total turbin angin yang digunakan berdasarkan hasil optimasi dari homer adalah 3 buah turbin angin.

3. Biaya yang didapatkan untuk menghasilkan listrik per kWh (LCOE) PLTB di tambak ikan Desa Jambu adalah Rp. 4,510. Biaya operasional sebesar Rp.19,4 juta/tahun, untuk nilai modal awal (CAPEX) pembangun PLTB adalah Rp. 201 juta. Biaya Net Present Cost (NPC) atau biaya keseluruhan komponen untuk pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Bayu sebesar Rp. 562,138,500. Produksi listrik tertinggi terjadi pada bulan juli dengan besar daya listrik yang diproduksi sebesar 2,40 MWh dan produksi listrik terendah terjadi pada bulan maret sebesar 695 kWh. Untuk konsumsi listrik masyarakat tambak ikan di Desa Jambu mencapai 18,34 kWh perhari atau 550 kWh perbulan untuk 1 tambak ikan.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, I., & Nurdin, J. (2016). Kajian Potensi Energi Angin Di Daerah Kawasan Pesisir Pantai Serdang Bedagai Untuk Menghasilkan Energi Listrik. *Jurnal Ilmiah*, 2(1), 31–38.
- Abdul Kadir. 1995. “*Energi Sumber Daya, Inovasi, Tenaga Listrik dan Potensi Ekonomi*”. Jakarta : Universitas Indonesia.
- Dewansyah, Ismawan. (2015). “Windrose (Mawar Angin)”. Bandar Lampung : Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Lampung.
- Estoque, M. A. (1961), A theoretical investigation of the sea breeze, Q. J. R. Meteorol. Soc., 87, 136–146, doi:10.1002/qj.49708737203.
- Habibie, M. N., Sasmito, A., & Kurniawan, R. (2011). Kajian Potensi Energi Angin Di Wilayah Sulawesi Dan Maluku. *Jurnal Meteorologi Dan Geofisika*, 12(2), 181–187.
- Homer. (2015). Homer Help Manual. HOMER ENERGY.
- Hesty, N. W., Cendrawati, D. G., Nepal, R., & Irsyad, M. I. al. (2021). *Energy potential assessments and investment opportunities for wind energy in Indonesia*. CAMA Working Paper No. 31/2021.
- International Organization for Standardization (ISO). (1996). ISO 9613-2:1996 Acoustics—Attenuation of sound during propagation outdoors—Part 2: General method of calculation.
- James J. Simpson & Clayton A. Paulson. (1977). Irradiance Measurements in the Upper Ocean, School of Oceanography, Oregon State University, Corvallis.
- Lee, J., & Zhao, F. (2021). *Global wind report 2021*. Global Wind Energy Council (GWEC).
- Puspitarini, H. D. (2021). *Beyond 443 GW: Indonesia's infinite renewable energy potentials*. Institute for Essential Services Reform (IESR). <https://iesr.or.id/en/pustaka/beyond-443-gw-indonesias-infinite-renewableenergy-potentials>.
- Sathyajith, M. (2006) Wind Energy Fundamentals, Resource Analysis and Economics. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, Netherlands.
- Soeripno. (2008). Potensi Energi Angin dan Prospek Pemanfaatannya. Prosiding Workshop Nasional Energi Angin, Sub Tema: Peningkatan Peran Teknologi Energi Angin dalam Penyediaan Energi Nasional non-Fosil. Jakarta: Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional.
- T. Al-Shemmeri, Wind Turbines, 1st ed. BookBoon 2010, 2014.
- Widyanto, S., Wisnugroho, S., & Agus, M. (2018). Pemanfaatan Tenaga Angin Sebagai Pelapis Energi Surya pada Pembangkit Listrik Tenaga Hibrid di Pulau Wangi-Wangi. 1–12

