

## Analisa Potensi Angin dan Cahaya Matahari Sebagai Alternatif Sumber Tenaga Listrik di Wilayah Laut Sawu

Wira Setiawan<sup>1\*</sup>, Rio Hermawan<sup>2</sup>, Suardi<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Institut Teknologi Kalimantan

\*wira@itk.ac.id

### Abstract

*Sawu sea, consists of Kupang Island, Sumba Island, Rote Island, Sawu Island and Timor Island, has potential renewable energies form wind and sunlight. Those energies can be utilized as the benign electricity sources for shipping industry, including ferry ship which is the main transportation mode ensuring the connectivity of Sawu Sea. In order to utilize renewable energy on board, an analysis of wind and sunlight potentials needs to be conducted including the power distribution scheme on the ferry. This study discusses wind speed data processing and sunlight intensity obtained from local BMKG. Power calculation process is done by Rayleigh probability distribution method to obtain the optimal value generated by wind turbine and solar cell which is then adjusted to power requirement of lighting and navigation at the space of ferry existing ship. The result shows that every single wind turbine and solar cell can generate 13.3 kWh and 2.62 kWh respectively. Hence, by using 4 wind turbines and 56 solar modules according to available space on board, 200.08 kWh of power can be supplied for lighting and navigation on the ferry.*

**Keywords :** *Ferry Ship, Wind Turbine, Solar Cell, Sawu Sea, Renewable Energy*

### Abstrak

Perairan laut Sawu yang terdiri dari Pulau Kupang, Sumba, Rote, Sawu dan Timor memiliki potensi sumber daya energi terbarukan yang berasal dari angin dan intensitas cahaya. Energi tersebut dapat dimanfaatkan sebagai sumber pembangkit listrik yang ramah lingkungan untuk industri pelayaran, termasuk kapal feri yang merupakan moda transportasi utama untuk menjamin konektivitas wilayah laut Sawu. Untuk dapat memanfaatkan energi terbarukan di kapal, maka analisa potensi angin dan cahaya matahari perlu dilakukan termasuk skema distribusi daya pada kapal feri tersebut. Penelitian ini membahas pengolahan data kecepatan angin dan intensitas cahaya yang diperoleh dari BMKG setempat. Proses perhitungan daya dilakukan dengan metode distribusi probabilitas Rayleigh untuk mengetahui nilai optimal yang dihasilkan oleh turbin angin dan modul surya yang kemudian disesuaikan dengan kebutuhan daya untuk penerangan dan navigasi pada space kapal feri eksisting. Hasil penelitian menunjukkan bahwa satu unit turbin angin dapat menghasilkan 13.3 kWh sedangkan panel surya sebesar 2.62 kWh per unit. Sehingga dengan menggunakan 4 unit turbin angin dan 56 unit panel surya sesuai dengan space yang tersedia di kapal feri eksisting, dapat menghasilkan daya sebesar 200.08 kWh yang dapat digunakan untuk suplai kebutuhan listrik untuk penerangan dan navigasi.

**Kata kunci :** *Kapal Feri, Turbin Angin, Modul Surya, Laut Sawu, Energi Terbarukan*

## 1. Pendahuluan

### 1.1. Energi Alternatif

Kapal feri merupakan moda transportasi utama di laut Sawu karena tidak adanya akses lain yang lebih terjangkau dan efisien. Perairan laut Sawu memiliki lima pulau yang saling terhubung yaitu Pulau Kupang, Sumba, Rote, Sawu dan Timor.

Pada umumnya, sebagian besar kapal masih menggunakan mesin diesel sebagai pembangkit listrik utama di kapal termasuk yang beroperasi di perairan Indonesia. Namun, seiring dengan jumlah cadangan bahan bakar fosil yang semakin menipis, energi terbarukan mulai dilirik sebagai alternatif pilihan sumber daya pembangkit listrik yang ramah lingkungan.

Pada aspek pengembangan energi alternatif, telah dikenal secara luas pemanfaatan energi angin dan cahaya matahari. Energi kinetik dari angin dapat di konversi menjadi sumber energi listrik [1].begitu pula dengan energi surya yang berasal dari cahaya matahari/elektromagnetik. Sumber energi dari angin dan matahari, selain tidak polutif juga tersedia dalam jumlah tak terbatas. Untuk mengubah sumber energi tersebut menjadi energi listrik maka diperlukan turbin angin dan *sollar cell*.

Penggunaan turbin angin dan solar cell pada kapal feri tidak serta merta langsung dapat diaplikasikan di kapal. Ada banyak hal yang harus dipertimbangkan seperti karakteristik sumber energi yaitu angin dan cahaya matahari, kebutuhan listrik pada kapal, dan efisiensi dari aplikasi turbin angin[2].

**2. Metoda Penelitian**

Pada studi awal ini, dilakukan penelitian pada kapal feri eksisting KMP Ranaka 1000 GT yang beroperasi di perairan Laut Sawu lintas Kupang-Sabu. Adapun pemilihan turbin serta modul akan ditinjau dari aspek ketersediaan ruangan/*space* dan tidak mempertimbangkan aspek konstruksi, berat displaesemen dan trim. Berikut adalah ukuran utama KMP. Ranaka:

- LoA : 56.02 m
- LWL : 48.82 m
- B : 14 m
- H : 3.8 m
- T : 2.7 m
- GT : 1029
- Daya A/E : 2 x 168 kW

**2.1. Perhitungan Kapasitas Sel Surya**

Daya yang dihasilkan sebuah sel surya adalah hasil perkalian antara arus dan tegangan. Dalam formula dapat dituliskan sebagai berikut :

$$P_{max} = V_{max} \times I_{max} \dots\dots\dots(1)$$

Perbandingan antara hasil perkalian arus dan tegangan pada daya maksimum dan hasil

perkalian  $I_{sc} \times V_{oc}$  disebut *fill factor* dan dapat diformulasikan sebagai berikut:

$$FF = \frac{V_{max}-I_{max}}{V_{oc} \times I_{sc}} \dots\dots\dots(2)$$

Daya  $P_{max}$  yang dihasilkan sel surya dipengaruhi oleh efisiensi konversi dan intensitas cahaya matahari  $\phi A$  (watt/m<sup>2</sup>). Efisiensi konversi didefinisikan sebagai berikut.

$$n = \frac{P_{max}}{\phi A} \dots\dots\dots(3)$$

**2.2. Perhitungan Kapasitas Turbin Angin**

Untuk turbin, data angin biasanya disajikan dalam bentuk kecepatan rata-rata per bulan selama satu tahun. Namun, pada kenyataannya, kecepatan angin tidaklah sama dalam suatu periode waktu tertentu. Variasi kecepatan angin dalam suatu periode tertentu dapat disajikan oleh fungsi distribusi probabilitas. Persamaan fungsi yang cocok digunakan pada variasi kecepatan angin adalah distribusi probabilitas Weibull (h) dengan dua parameter yaitu parameter bentuk (k) dan parameter skala (c). Distribusi Weibull dengan k=2 disebut distribusi Rayleigh [3].

Distribusi probabilitas Rayleigh bisa menjadi representasi yang sederhana dan akurat terhadap variasi kecepatan angin hanya dengan satu parameter yaitu parameter c.

Parameter c dapat dicari dengan formula berikut :  $V_{rata-rata} = 0,90c \dots\dots\dots(4)$

$V_{rata-rata}$  bisa diperoleh dari BMKG. Sedangkan fungsi probabilitas Rayleigh adalah sebagai berikut :

$$h(v) = \frac{2v}{c^2} e^{-(v/c)^2} \dots\dots\dots(5)$$

Pengukuran awal diambil pada ketinggian sepuluh meter, dengan persamaan *Helman Exponential Law*[3]:

$$\frac{v}{v_0} = \left( \frac{H}{H_0} \right)^\alpha \dots\dots\dots(6)$$

Dengan v adalah kecepatan pada ketinggian H dan  $V_0$  adalah kecepatan pada ketinggian pengukuran, yaitu 10 meter dan  $\alpha$

adalah koefisien friksi. Untuk tipe lansekap danau dan samudera, ditentukan koefisien friksi  $\alpha$  sebesar 0.1.

**3. Hasil Penelitian**

**3.1. Potensi Cahaya Matahari**

Pengukuran potensi energi listrik dari matahari dapat dilakukan dengan data-data antara lain luasan lokasi, radiasi matahari, lama penyinaran. Data radiasi matahari dan lama penyinaran bisa diperoleh dari BMKG setempat sedangkan luasan lokasi bisa diperoleh dari denah atau pengukuran secara langsung.

Tabel 1 Radiasi Matahari

Bulan	Radiasi ( kWh/m <sup>2</sup> )
January	6.91
februari	5.43
Maret	5.52
April	6.89
Mei	5.75
Juni	5.59
Juli	5.63
Agustus	6.49
September	7.16
Oktober	7.25
November	7.01
Desember	6.35

( Sumber : BMKG Laisana Kupang, 2016 )

Potensi energi listrik dari matahari telah diketahui pada tabel diatas. Potensi energi listrik tersebut baru bisa dimanfaatkan setelah energi itu diserap oleh panel surya. Penerapan teknologi *solar cell* adalah melalui sebuah sistem yang terdiri panel surya dan beberapa peralatan lainnya termasuk baterai.

Besarnya daya yang tertulis dalam katalog modul surya adalah kondisi standar tes, yakni radiasi 1000 w/m<sup>2</sup> pada temperatur modul 25<sup>o</sup> C. Nilai efisiensi tersebut menunjukkan seberapa besar daya yang mampu dihasilkan panel surya dari radiasi matahari yang diterima.

Tabel 2 Efisiensi Modul Surya

Modul	Voc (Volt)	Isc (A)	FF	P (watt)	A (m2)	Eff
sl250ce	59.9	5.25	0.76	250	1.68	0.141
pv30/500	79.5	8.5	0.76	500	3.39	0.151
sl180ce	44.71	5.1	0.76	180	1.27	0.135

Potensi energi modul surya ditentukan oleh dua faktor yaitu faktor radiasi matahari dan temperature modul. Misalnya, satu unit modul surya pv30/500 mampu mengumpulkan energi listrik maksimum sebesar 4,116 kWh dari 9 jam penyinaran matahari.

Pada sistem ini baterai menggunakan penghasil daya listrik DC yang dibutuhkan inverter. Karena kapasitas baterai diukur dalam satuan Ah maka satuan energi listrik dari sel surya harus diubah kedalam bentuk yang mengandung unsur ampere di dalamnya. Berdasarkan persamaan listrik umum  $P = I.V$  dan dengan tengangan charger sebesar 24 V untuk menampung energi listrik panel surya selama 9 jam. Maka kapasitas yang dibutuhkan dapat dihitung dan hasilnya sebagaimana pada tabel 4.

$$Q_{bat} = \frac{P}{V} \times 1000 \dots\dots\dots(7)$$

Tabel 3 Kapasitas Baterai Panel Surya

Modul	Daya (kWh)			Baterai (Ah)
	Minimum	Maximum	rata-rata	
sl250 ce	1.297	1.732	1.513	63.028
500w	3.082	4.116	3.594	149.768
Sl180 ce	0.976	1.304	1.138	47.454

Inverter dengan efisiensi 90% yang artinya jika daya DC yang masuk besarnya 100 Watt maka daya AC yang dihasilkan 90 watt, jika variabel yang hendak dicari adalah besarnya daya AC yang dihasilkan dan efisiensinya 85 % maka daya AC inverter dapat dituliskan sebagaimana pada tabel 4.

$$P_{out} = 0,85 P_{in} \dots\dots\dots(8)$$

Tabel 4 Daya Listrik Sistem Sel Surya

Modul	Daya Total (kWh)	Daya Output (kWh)	Daya Total (kW)	Daya Output (kW)
sl250 CE	1.297	1.102	0.144	0.122
500w	3.0825	2.620	0.342	0.291
sl180CE	0.9767	0.830	0.108	0.0922

Dari hasil perhitungan diatas dapat dilihat nilai efektivitas dari ketiga buah jenis modul surya tersebut sehingga dapat dipilih jenis modul surya Pv 30/500 karena menghasilkan daya output yang paling besar. Selain itu, dimensinya yang sebesar 2.9 x 1.2 m/unit dapat memaksimalkan jumlah modul terpasang sesuai dengan area yang tersedia.

### 3.2. Potensi Angin

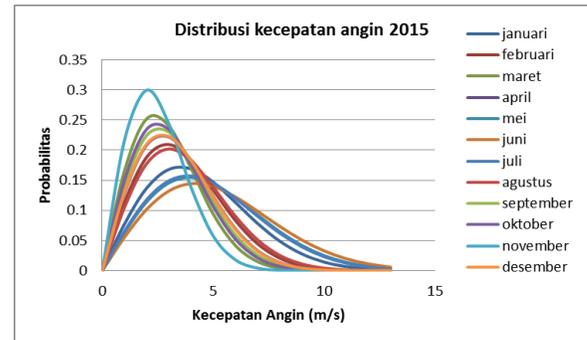
Distribusi probabilitas Rayleigh yang ditunjukkan persamaan 5 memerlukan nilai parameter skala c. Data yang telah diperoleh dari BMKG adalah kecepatan rata-rata sehingga dengan menggunakan persamaan 4, parameter c dapat ditentukan distribusi kecepatan angin tiap hari dalam satu bulan pada kecepatan rentang 0-13 m/s.

Tabel 5 Distribusi Kecepatan Angin

h (v)	Januari
0	0
1	0.032
2	0.060
3	0.083
4	0.099
5	0.107
6	0.108
7	0.102
8	0.092
9	0.079
10	0.065
11	0.051
12	0.038
13	0.028

Probabilitas tertinggi ada pada kecepatan angin 6 m/s yaitu 0.108018 dan jika dikalikan 744 jam selama 1 bulan, maka hasilnya adalah 80 jam. Artinya selama bulan Januari kecepatan angin 6 m/s terjadi sebanyak 80 jam atau kurang lebih 4 hari. Gambar 1 adalah

grafik distribusi kecepatan angin selama tahun 2015.



Gambar 1. Distribusi Kecepatan Angin

Potensi energi listrik dihitung berdasarkan distribusi kecepatan angin di kapal feri selama satu tahun sebagaimana tabel berikut.

Tabel 6 Potensi Energi Listrik dari Angin

V (m/s)	h(v) 1 tahun	p (watt/m <sup>2</sup> )	Durasi (jam)	Listrik (kWh/m <sup>2</sup> )
0	0	0	0	0
1	0.040	0.61	351.186	0.214
2	0.074	4.88	654.234	3.192
3	0.099	16.47	873.206	14.381
4	0.113	39.04	991.904	38.723
5	0.115	76.25	1014.490	77.354
6	0.109	131.76	960.159	126.510
7	0.097	209.23	855.066	178.905
8	0.083	312.32	724.891	226.398
9	0.067	444.69	590.137	262.428
10	0.053	610	464.463	283.3225
11	0.040	811.91	355.222	288.408
12	0.030	1054.08	265.030	279.362
13	0.022	1340.17	193.473	259.287
				Σ = 2038.49

Efisiensi dari turbin angin dapat diketahui dengan menggunakan persamaan berikut :

$$P_o = 1/2\rho AV^3 C_p \dots\dots(9)$$

Efisiensi menunjukkan kemampuan turbin angin dalam mengubah daya mekanik pada angin menjadi daya listrik. Jika nilai efisiensi diketahui maka daya yang akan dihasilkan dari turbin angin sesuai dengan kecepatan kerja sebenarnya dapat diketahui. Contoh

perhitungan efisiensi dari turbin angin merek Aeolos adalah sebagai berikut :

$$5000 = \frac{1}{2} \cdot 1,2 \cdot 14,8 \cdot 10^3 \cdot C_p$$

$$C_p = \frac{5000}{8880} = 0,56$$

Koefisien daya turbin angin Aeolos adalah sebesar 0.56. Ini artinya ketika ada angin dengan kecepatan 19.4 knot ( 10 m/s ) melewati turbin angin Aeolos 5 kW, bilah-bilah turbin angin dapat menyerap daya sebesar 8880 watt dari angin yang mengalir tersebut. Namun setelah melalui proses konversi, daya listrik yang dapat digunakan hanya 0.56 bagian dari 8880 Watt yaitu sebesar 5000 Watt. Tabel 7 adalah tabel rekapitulasi hasil perhitungan efisiensi dari berbagai produk turbin angin:

Tabel 7. Efisiensi Turbin Angin

No	Produk	Cp
1	10 KW	0.449
2	Taisei 5.5KW	0.142
3	Aeolos 5KW	0.563
4	DS 3KW	0.139
5	T-5 VAWT 5KW	0.209
6	sunsurf wt3 30KW	0.394
7	Sunsurf wt3 20KW	0.263

Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya bahwa kecepatan angin selama selang waktu tertentu merupakan fungsi probabilitas dan juga dipengaruhi oleh ketinggian sehingga potensi sebuah turbin angin juga merupakan fungsi probabilitas daya yang dipengaruhi oleh ketinggian dan kecepatan angin, contoh fungsi probabilitas daya turbin angin Aeolos 5 kW ditunjukkan oleh Tabel 8 berikut.

Tabel 8 Probabilitas daya listrik turbin Aeolos 5 kW

V m/s)	h(v)	P (w)
3	0.179	135
4	0.175	320
5	0.146	625
6	0.107	1080
7	0.069	1715
8	0.040	2560
9	0.021	3645
10	0.010	5000

Turbin angin Aeolos 5 kW memiliki kapasitas sebesar 5 kiloWatt namun pada kondisi lapangan probabilitas turbin angin ini untuk bekerja pada kapasitas aslinya sebesar 0.01 atau sekitar 2.4 % dari rentang waktu atau kurang lebih 1 jam selama 1 hari ( 24 jam ). Probabilitas tertinggi turbin angin ini pada 0.179 yaitu pada daya 135 Watt yang artinya dalam kurun waktu 1 hari (24 jam) turbin angin ini menghasilkan daya sebesar 135 Watt selama kurang lebih 4 jam. Tabel 9 merupakan rekapitulasi potensi turbin angin beserta kapasitas baterainya.

Tabel 9 Daya dan kapasitas baterai turbin angin

No	Produk	Daya total (Kwh)	Dayaoutput ( kWh )	Kapasitas Baterai (Ah)
1	10 KW	28.94	25.17	1205.769
2	Taisei 5KW	10.66	9.27	443.987
3	Aeolos 5KW	15.33	13.33	638.798
4	DS 3KW	5.77	5.02	240.431
5	T-5 VAWT 5KW	13.89	12.08	578.678
6	sunsurf wt3 30KW	160.33	139.48	6680.330
7	sunsurf wt3 20KW	99.89	86.90	4162.164

### 3.3. Kebutuhan Listrik di Kapal

Pada umumnya, kebutuhan daya listrik di kapal dibagi menjadi empat bagian, yakni peralatan permesinan, akomodasi, penerangan dan navigasi komunikasi. Beban-beban tersebut kemudian dikondisikan pada jenis operasional kapal seperti berlayar, bongkar muat, berlabuh dan *emergency condition*.

Berdasarkan kondisi eksisting kapal ferry 1000GT pada rencana umum, geladak navigasi dapat menampung 56 unit modul surya dan 4 unit turbin angin tipe aeolos 5kW sehingga daya listrik maksimum yang dapat disuplai oleh energi terbarukan tersebut adalah sebagai berikut.

Tabel 10. Kapaitas maksimum turbin angin dan modul surya

Item	Jumlah	Kapasitas (kWh)	Daya (kWh)
turbin angin (Aeolos 5kW)	4	13.3	53.35
modul surya (Pv 30/500)	56	2.62	146.73
Total Suplai Listrik			200.08

Daya listrik maksimal yang dapat dihasilkan oleh 4 turbin angin dan 56 modul surya sebesar 200.08 kWh, memungkinkan untuk menyuplai seluruh kebutuhan penerangan; atau seluruh kebutuhan navigasi komunikasi; atau sebagian kebutuhan penerangan ditambah seluruh kebutuhan navigasi komunikasi untuk memaksimalkan jumlah daya yang tersedia.

Berikut adalah data kebutuhan daya listrik di kapal ferry 1000 GT lintas Kupang-Sabu dimana total waktu pelayaran adalah 16 jam (10 jam siang dan 6 jam malam).

Tabel 11. Skenario 1 penerangan

Skenario 1 ( penerangan )	Daya (kWh)
berlayar siang	19.8
berlayar malam	144.9
bongkar muat	5.47
berlabuh	7.72
total	177.89

Tabel 12. Skenario 2Navcom

Skenario 1 ( penerangan )	Daya (kWh)
berlayar siang	26.94
berlayar malam	44.9
bongkar muat	3.84
berlabuh	0.5
total	76.18

Tabel 13. Skenario 3Navcom + Penerangan

Skenario 1 ( penerangan )	Daya (kWh)
berlayar siang	46.74
berlayar malam	134.80
bongkar muat	9.31
berlabuh	5.97
total	196.82

#### 4. Kesimpulan

Setelah dilakukan pengumpulan data kemudian dihitung masing-masing energi keluaran dari intensitas cahaya dan potensi angin hingga efisiensi dari modul serta turbin angin, sehingga diperoleh hasil :

- a) Potensi energi listrik dari angin dan matahari yang dapat dimanfaatkan oleh

turbin angin dan sel surya di kapal feri perairan laut sawu sebesar 13.30 kWh per turbin dan 2.62 kWh per modul surya

- b) Total penggunaan energi listrik untuk penerangan lampu pada kapal feri secara keseluruhan selama 1 kali perjalanan atau 16 jam sebesar 177.89 kWh sedangkan pada peralatan navigasi dan komunikasi adalah 76.18 kWh.

- c) Penerapan modul surya dan turbin angin pada kapal feri eksisting dapat disimulasikan dengan tiga skenario yang mana penggunaan maksimal dengan 4 buah turbin angin dan 56 unit modul surya dapat menghasilkan daya total 200.08 kWh dari kebutuhan 196.82 kWh.

#### 5. Saran

Penelitian selanjutnya dapat membahas mengenai penerapan turbin angin dan modul surya pada kapal feri eksisting dengan memperhatikan berat displasemen sehingga akan mempengaruhi kapasitas ruang muat maupun stabilitas dan trim. Selain itu, penelitian ini juga dapat dikembangkan pada desain kapal hybrid sehingga perhitungan berat modul surya dan turbin angin dapat dimasukkan ke dalam bobot kapal kosong .

#### 6. Daftar Pustaka

- [1] H. Erich, *Wind turbines: fundamentals, technologies, application, economics*. Springer, 2006
- [2] J. Sargolzaei, "Prediction of The Power Ratio in Wind Turbine Savonius Rotors Using Artificial Neural Networks", *International Journal of Energy and Environment*, Volume 1 issue 2, pp. 51-56, 2007
- [3] F.R. Mizza, W.P Triwilaswandio, "Penerapan Teknologi Sel Surya Dan Turbin Angin Untuk Meningkatkan Efisiensi Energi Listrik Di Galangan Kapal", *Jurnal Teknik POMITS*, Volume 2 no.1, 2014