MESTRO JURNAL ILMIAH
Jurnal homepage: https://jurnal.publikasi-untagcirebon.ac.id/

Optimizing Production Kwh Legon PLTD Using Wind Turbine Generator Model B. Ventus 250 KW(Case Study on Karimunjawa *Island)*

Optimalisasi Produksi Kwh PLTD Legon Bajak Menggunakan Wind Turbine Generator Model B. Ventus 250 KW (Studi Kasus Di Pulau Karimunjawa)

Ery Sutikno[1], *Safrizal[2], Zaenal Arifin[3]

[1,2,3)] Fakultas Sains dan Teknologi, Univeristas Islam Nahdlatul Ulama Jepara

INFORMASI ARTIKEL

NASKAH DITERIMA: 16 Maret 2023
DIREVISI: 14 April 2023
DISETUJUI: 15 Juni 2023

***KORESPODENSI PENULIS:**
safrizal27@gmail.com

Abstract

Electricity supply must be able to reach all users, including those on small islands in Indonesia, one of which is Karimunjawa Island. Starting in 2016 Karimunjawa Island is supplied by 2 units of Legon Bajak Diesel Power Plant (PLTD) with a capacity of 2x2.2 MW. Based on the peak electricity demand on Karimunjawa Island, each month from January 2017 to December 2018 increased by about 3.9% with an hourly peak load of 1,146 kWh. The average consumption of PLTD Legon Bajak every month in 2018 is 194,877 liters / month. The higher the kWh production of a PLTD, the higher the operational costs for fuel. In addition to the high price of fuel, combustion results from PLTD operations also cause air pollution. Based on these problems in this study will analyze the optimization of the kWh Legon Bajak PLTD using a wind turbine generator model b.ventus 250 kW of 3 units with an assumption of 50% of the peak load, because on Karimunjawa Island has a high enough wind energy potential. The average wind speed from 2004 to 2015 in several areas of Karimunjawa Island was 5.7 m / s. In this study will calculate technical analysis and economic analysis. In the technical analysis the wind turbine generator power output is calculated using the weibull method based on wind speed and power curve b.ventus 250 kW while the economic analysis calculates the cost of fuel savings that can be achieved after optimization calculations. Calculation results show wind turbine power output of 990,981 kWh / year. Based on the specific value of fuel consumption (SFC) of 0.432 liters / kWh fuel consumption during 2017 amounted to 1,605,453.9 liters / year while for 2018 it was 2,338,528.1 liters / year. From the 3 wind turbine electricity supply of 2,972,943 kWh / year, it will reduce fuel consumption by 1,284,311.4 liters / year with a saving cost of Rp.15,989,291,338.00. The amount of optimization of the kWh PLTD after the supply of 3 units of b.ventus 250 kW wind turbine model in 2017 was 80% while in 2018 it was 54.9%.

Keyword : *karimunjawa, diesel power plant, renewble energy, legon bajak, wind turbine generator.*

Abstrak

Suplai energi listrik harus bisa menjangkau ke seluruh penggunanya termasuk yang berada di pulau - pulau kecil di Indonesia salah satunya Pulau Karimunjawa. Mulai Tahun 2016 Pulau Karimunjawa disuplai oleh 2 unit Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD) Legon Bajak dengan kapasitas 2x2,2 MW. Berdasarkan beban puncaknya kebutuhan listrik di Pulau Karimunjawa setiap bulannya dari Januari 2017 sampai dengan Desember 2018 mengalami peningkatan sekitar 3,9% dengan beban puncak per jam sebesar 1.146 kWh. Konsumsi rata-rata bahan bakar PLTD Legon Bajak setiap bulan di tahun 2018 sebesar 194.877 liter/bulan. Semakin tinggi produksi kWh sebuah PLTD maka semakin tinggi juga biaya operasional untuk bahan bakarnya. Selain tingginya harga bahan bakar, hasil pembakaran dari operasional PLTD juga menyebabkan polusi udara. Berdasarkan adanya permasalahan tersebut pada penelitian ini akan menganalisa optimalisasi kWh PLTD Legon Bajak menggunakan wind turbine generator model b.ventus 250 kW sebanyak 3 unit dengan asumsi 50% dari beban puncak, karena di Pulau Karimunjawa memiliki potensi energi angin yang cukup tinggi. Rata-rata kecepatan angin dari tahun 2004 sampai dengan tahun 2015 di beberapa wilayah di Pulau Karimunjawa sebesar 5,7 m/s. Pada penelitian ini akan menghitung analisa teknik dan analisa ekonomi. Pada analisa teknik output daya wind turbine generator dihitung menggunakan metode weibull berdasarkan kecepatan angin dan power curve b.ventus 250 kW sedangkan analisa ekonomi menghitung besarnya biaya penghematan bahan bakar yang bisa dicapai setelah dilakukan penghitungan optimalisasi. Hasil penghitungan menunjukkan output daya turbine angin sebesar 990.981 kWh/tahun. Berdasarkan nilai spesific fuel consumtion (SFC) sebesar 0,432 liter/kWh konsumsi bahan bakar selama tahun 2017 sebesar 1.605.453,9 liter/tahun sedangkan untuk tahun 2018 sebesar 2.338.528,1 liter/tahun. Dari suplai listrik 3 unit turbin angin sebesar 2.972.943 kWh/tahun akan menekan konsumsi bahan bakar sebesar 1.284.311,4 liter/tahun dengan biaya penghematan sebesar Rp.15.989.291.338,00. Besarnya optimalisasi kWh PLTD setelah adanya suplai dari 3 unit turbin angin model b.ventus 250 kW pada tahun 2017 sebesar 80 % sedangkan pada tahun 2018 sebesar 54,9%.

Kata Kunci : *karimunjawa, PLTD, energi baru terbarukan, PLTD Legon Bajak, Wind Turbine Generator.*

© MESTRO e-ISSN 2657 – 1072, All rights reserved

I. PENDAHULUAN

Karimunjawa adalah Pulau di bagian utara Kabupaten Jepara. Dengan komoditi utama disektor pariwisata dan perikanan. Dari sektor pariwisata mampu menarik wisatawan untuk datang dan melihat indahnya alam bawah laut di perairan karimunjawa. Untuk menunjang pertumbuhan ekonomi di Pulau Karimunjawa tentunya dibutuhkan aliran suplai listrik yang tidak sedikit, suplai listrik ini belum bisa diambil dari jaringan listrik Jawa-Bali dikarenakan salah satunya jarak Pulau Karimunjawa dengan pusat pemerintahan Kabupaten Jepara yaitu 90 km, sehingga apabila menggunakan jaringan kabel bawah laut akan memakan biaya yang tidak sedikit. Dari pertimbangan tersebut dibangunlah Pembangkit Listrik Tenaga Diesel Legon Bajak berkapasitas 2x2 MW yang berada di Dukuh Telaga, Desa Kemujan, Kecamatan Karimunjawa. Dengan pertumbuhan penduduk dan juga semakin bertambahnya wisatawan yang datang ke pulau Karimunjawa tentunya bertambah pula kebutuhan listriknya. Pertumbuhan penduduk di Pulau Karimunjawa sebesar 1.4% sedangkan pertumbuhan kunjungan wisatawan ke Pulau Karimunjawa sebesar 3,87%. Hal ini berdampak positif bagi peningkatan ekonomi Pulau Karimunjawa, namun konsekuensi pertumbuhan ekonomi tersebut diiringi dengan peningkatan beban listrik yang ada di Pulau Karimunjawa. Peningkatan beban listrik di Pulau Karimunjawa setiap bulannya dimulai dari Bulan Januari 2018 sampai dengan Bulan Desember 2018 sebesar 4 %, Kondisi ini memaksa PLTD untuk meningkatkan kapasitas produksinya. Sehingga semakin bertambahnya beban listrik di Pulau Karimunjawa yang disebabkan karena adanya peningkatan ekonomi, akan berdampak pula pada semakin besarnya biaya operasional PLTD untuk memproduksi listrik.
Secara geografis Pulau Karimunjawa berada di tengah-tengah pulau Jawa dan Pulau Kalimantan. Posisinya yang jauh dari bibir pantai selatan Pulau Kalimantan, membuat Pulau Karimunjawa dilewati angin laut dengan kecepatan yang relatif tinggi dengan rata-rata kecepatannya sekitar 5.7 m/s pada ketinggian 50 mdpl, dengan kondisi tersebut Pulau

Karimunjawa mempunyai potensi energi terbarukan yang bersumber dari angin. Hal ini bisa menjadi solusi sebagai energi alternatif sekaligus untuk mengurangi tingginya biaya operasional PLTD dengan membangun pembangkit listrik tenaga bayu (angin) berdasarkan area Pulau Karimunjawa yang mempunyai kecepatan angin 5.7 m/s pada ketinggian 50 mpdl

II. TINJAUAN PUSTAKA

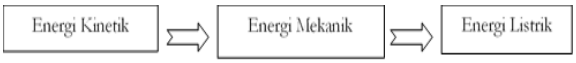
A. PLTD

Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD) adalah pembangkit listrik yang memanfaatkan tenaga dari mesin diesel sebagai pengerak utamanya (prime mover). PLTD Legon Bajak menggunakan mesin diesel produksi tahun 1997. Mesin diesel tersebut diproduksi oleh Wartsila dari Finlandia dengan *engine type* Wartsila 9L26. Output daya yang mampu dihasilkan sebesar 2708 kw pada 1000 rpm. Spefisik Konsumsi bahan bakar nya mencapai 0,423 liter/kWh.

Gambar 1. *Diesel Generator* PLTD Legon Bajak

B. Sistem Konversi Energi Angin (SKEA)

Proses pemanfaatan energi angin melalui dua tahapan konversi energi. Pertama energi kinetik angin dirumah menjadi energi mekanik dari rotor, kemudian energi mekanik dari motor dirubah menjadi energi listrik oleh generator



Gambar 2. Diagram konversi energi pada SKEA

Besarnya energi listrik yang dihasilkan dapat dihitung dengan rumus:

$$P = \frac{1}{2}\rho\left(\frac{\pi D^2}{4}\right)v^3 \quad \text{.....(1)}$$

Keterangan:
P = Daya (Watt)
ρ = *Density* (kerapatan) udara 1,225 kg/m^3
D = Diameter sweap area (m)
V = Kecepatan angin (m/s)

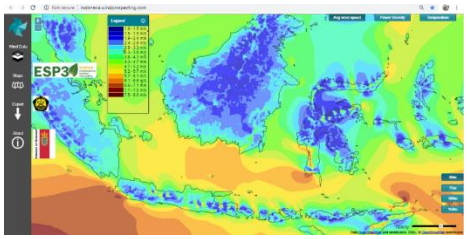
C. Indonesia Wind Prospecting

Berdasarkan RUEN (Rencana Umum Energi Nasional) pada tahun 2025, Indonesia menargetkan adanya bauran energi (energi mix) nasional sebesar 23%. Untuk mewujudkan hal tersebut indonesia harus membangun 45.000 MW Pembangkit Listrik Energi Baru Terbarukan (EBT). Sedangkan untuk saat ini baru ada sekitar 8.800 MW Pembangkit Listrik Energi Baru Terbarukan (EBT) atau sekitar 14% dari total pembangkit listrik yang ada di Indonesia. Dari 8.800 MW pembangkit EBT yang terpasang, energi angin hanya menyumbang sekitar 260 MW atau 3 % dari total energi baru terbarukan. Dibutuhkan sekitar 6.035 MW pembangkit listrik EBT untuk mencapai bauran energi baru terbarukan sebesar 23%.

Menindaklanjuti rencana tersebut, pihak pemerintah dalam hal ini adalah Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral mengembangkan peta energi angin yang diperuntukkan untuk umum dalam bentuk website dengan nama Indonesia Wind Prospecting. Website ini berisi tentang peta potensi energi angin di Wilayah Indonesia. Peta ini dikembangkan pada tahun 2014 sampai dengan 2017 oleh Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral bekerja sama dengan EMD International A/S, Denmark dan dibiayai oleh program *Enviromental Support Program Phase 3* (ESP3). Model mesoscale yang digunakan adalah *Weather and Research Forecast Model*

© MESTRO e-ISSN 2657 – 1072, All rights reserved

(WRF) dengan resolusi 0,029 ° (sekitar 3 km) dan didukung oleh data dari *global Era-Interim* dari periode 2004 sampai dengan periode 2015.



Gambar 3. Website Indonesia.windprospecting.com

Besarnya kecepatan angin bisa dilihat berdasarkan ketinggian tempatnya dimulai dari ketinggian 50 m, 75 m, 100 m dan 150 m. Pada penelitian ini data yang diambil adalah data kecepatan angin di Pulau Karimunjawa pada ketinggian 50 m selama periode 2015.

D. Metode Weibull

Metode weibull digunakan untuk mengetahui besarnya frekuensi kecepatan angin dalam satu periode waktu dalam satuan persen.

$$w_p = \left(\frac{n_{ws}}{n_h} \right) \times 100\% \text{ .....(2.2)}$$

Keterangan:

Wp = *weibull probability (%)*
n_{ws} = *number of wind speed*
n_h = *number of hour*

Data ini didapat dari peta potensi energi angin pada website Indonesia *Wind Prospecting. Number of hour* adalah jumlah jam dalam periode waktu yang akan dihitung. Dalam penelitian ini *number of hour* dihitung setiap satu bulan. Perhitungan jumlah energi listrik yang diproduksi turbin angin pada setiap bulannya dapat diperoleh dengan rumus :

$$M_{ep} = p_c \times n_{ws} \text{ .....(2.3)}$$

keterangan :

M_{ep} = *Mounthly energy production* (kWh)
p_c = *Power curve* setiap turbin angin (kW)
n_{ws} = *number of wind speed*

Power curve adalah kurva daya yang tercantum pada datasheet setiap model turbin angin berupa besarnya daya yang dihasilkan pada setiap tingkatan kecepatan angin. Selanjutnya perhitungan untuk mengetahui tingkat kinerja turbin angin dapat diketahui dengan rumus :

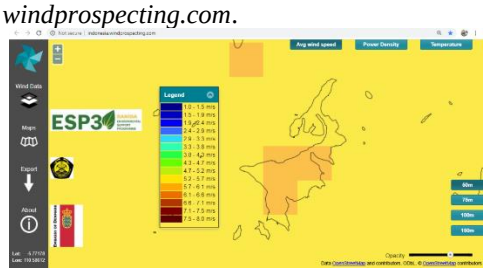
$$CF = \frac{p_{bruto}}{P_{\max out}} \times 100\% \text{ .....(2.4)}$$

CF = *Capacity Factor* (%)
P_{Bruto} = Daya Bruto turbin (Kwh)
$P_{Max\ Out}$ = Daya maximal output turbin (Kwh)

Capacity factor digunakan sebagai acuan untuk mengukur tingkat produktivitas energi listrik yang dihasilkan oleh turbin angin.

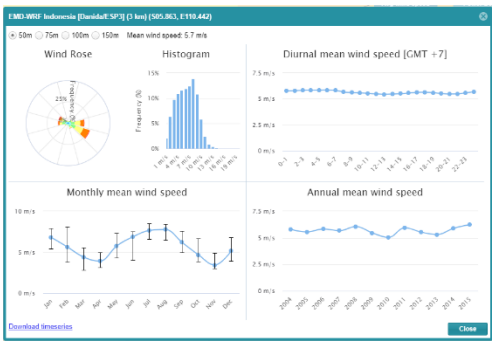
E. Potensi Energi Angin Di Pulau Karimunjawa

Berdasarkan website Indonesia Wind Prospecting Kecepatan rata-rata angin di Karimun Jawa pada ketinggian 50 m sebesar 5.7 - 6.1 m/s sehingga cukup untuk memutar turbine angin skala besar. Berikut kecepatan angin rata-rata pada ketinggian 50 m di tahun 2015 di sebagian wilayah Pulau Karimunjawa berdasarkan peta energi angin dari website *indonesia.windprospecting.com*.



Gambar 4. Peta potensi energi angin Pulau Karimunjawa

Sebagian wilayah Pulau Karimun Jawa berwarna orange dan kuning. Apabila kita cocokkan dengan *legend parameter* wilayah yang berwarna orange mempunyai kecepatan angin rata-rata 5.7 - 6.1 m/s, sedangkan wilayah yang berwarna kuning mempunyai kecepatan angin rata-rata 5.2-5.7 m/s. Berdasarkan hal tersebut potensi angin yang paling besar adalah wilayah yang berwarna orange. Berikut adalah gambar detail apabila kita klik dua kali pada wilayah yang berwarna orange.



Gambar 5. Kec. Angin tahun 2004-2015

kecepatan angin rata-rata di Pulau Karimunjawa pada wilayah yang berwarna orange dari tahun 2004 sampai dengan Tahun 2005 berada diantara 5.0 m/s sampai 7.0 m/s.

F. Turbin Angin

Pembangkit listrik tenaga angin (PLTB) mempunyai penggerak mula (prime mover) yaitu *wind turbine* (turbin angin) yang dikopel langsung pada poros rotor generator. *Wind turbine* (turbin angin) digerakan oleh energi kinetik dari angin, ketika rotor pada *wind turbine* (turbin angin) mulai berputar maka rotor generator akan ikut berputar dan menghasilkan

© MESTRO e-ISSN 2657 – 1072, All rights reserved

listrik. Secara umum pembangkit listrik tenaga angin (PLTB) mempunyai beberapa komponen utama yang terdiri dari :

1. Gearbox

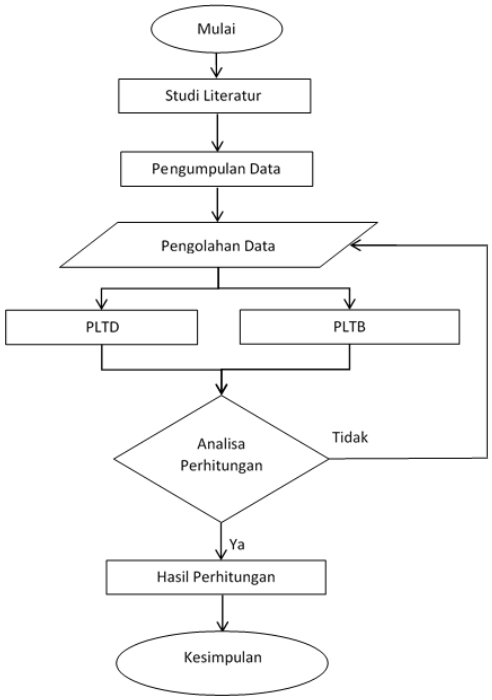
Komponen ini berfungsi untuk meningkatkan putaran rendah dari kincir angin menjadi putaran yang lebih tinggi yang diterima oleh rotor generator.

2. Brake System

Komponen ini berfungsi sebagai *protection devices* yang berfungsi untuk menjaga putaran rotor generator saat terjadi angin kencang diatas kapasitas yang sudah ditentukan. Kecepatan angin diluar batas yang diijinkan akan mengakibatkan kerusakan pada komponen-komponen utama pembangkit listrik tenaga angin (PLTB). Kerusakan tersebut bisa berupa *overheating*, *rotor generator crack* bahkan bisa menyebabkan generator meledak karena tidak dapat menahan arus yang terlalu tinggi.

III. METODE PENELITIAN

Tahapan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:



Gambar 3. Diagram alur penelitian

3. Generator

Generator berfungsi untuk merubah energi kinetik dari angin menjadi energi listrik. Ketika kincir angin mulai berputar dan menggerakkan rotor generator maka akan terjadi perubahan fluks pada stator yang selanjutnya akan menghasilkan tegangan dan arus listrik. Tegangan dan arus listrik yang dihasilkan oleh generator ini adalah arus listrik AC (alternating current). Energi listrik yang dihasilkan disalurkan melalui jaringan listrik, yang selanjutnya akan digunakan oleh masyarakat.

4. Penyimpan energi

Kecepatan angin yang tidak menentu menyebabkan terjadinya fluktuasi. Bahkan disetiap jam kecepatan angin bisa saja berubah. Apabila terjadi kecepatan angin yang tinggi sehingga generator menghasilkan energi listrik yang melebihi beban listrik yang ada, maka dibutuhkan komponen penyimpan energi listrik. Listrik yang disimpan tersebut bisa digunakan saat kecepatan angin rendah dan generator tidak mampu mensuplai listrik sesuai kebutuhan beban listrik. Komponen penyimpanan energi listrik ini bisa berupa batery atau aki.

A. Data Beban Listrik di Pulau Karimunjawa

Data yang digunakan adalah data beban listrik tahun 2017 dan tahun 2018. Beban tertinggi di tahun 2017 adalah pada bulan Oktober sebesar 389.195 kWh, sedangkan tahun 2018 beban puncak berada pada bulan Desember sebesar 540.626 kWh.

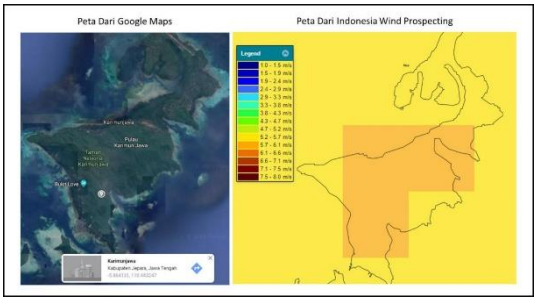
Tabel 1. Beban Karimunjawa 2017-2018

Bulan	**Produksi PLTD 2017 (kWh)**	**Produksi PLTD 2018 (kWh)**
Jan	242.049	341.973
Feb	207.024	324.187
Mar	259.016	392.771
Apr	265.783	412.661
Mei	313.181	441.924
Jun	315.338	441.422
Jul	321.383	464.074
Augt	352.729	476.647
Sep	354.992	508.043
Oct	389.195	537.367
Nov	343.176	531.569
Dec	352.467	540.626
Total	**3.716.329**	**5.413.259**

B. Lokasi PLTB

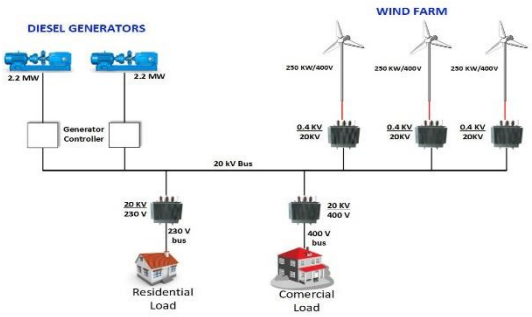
Penentuan lokasi pemasangan PLTB dilakukan dengan metode observasi tidak langsung, digunakan Google Maps sebagai alat pengakses lokasi dengan menyesuaikan titik koordnat yang ada di peta potensi angin dari website www.indonesia.windprospecting.com.

© MESTRO e-ISSN 2657 – 1072, All rights reserved



Gambar 3. Lokasi Perkiraan PLTB

Lokasi tersebut dipilih karena berdasarkan peta potensi angin mempunyai keceptan rata-rata angin sebesar 5,7-6,1 m/s, tepatnya pada titik koordinat latitude -5,86 dan longitude 110,44.



Gambar 3. PLTB On Grid

Output daya dari PLTB dihubungkan langsung ke dalam jaringan transmisi tanpa menggunakan baterai, karena *output daya* dari PLTB besarnya di bawah beban listrik yang ada.

C. Data Kecepatan Angin

Pengumpulan data kecepatan angin di Karimunjawa selama tahun 2015 dilakukan dengan cara mengakses website Indonesia Wind Prospecting. Data kecepatan angin tersebut digunakan untuk membandingkan produksi kWh turbin angin dengan produksi kWh pembangkit listrik tenaga diesel (PLTD) selama Tahun 2018.

kecepatan angin rata-rata setiap bulannya dari tahun 2004 sampai dengan Tahun 2015 terjadi fluktuasi yang cukup signifikan. Namun kecepatan terendah diatas 3.0 m/s, sehingga untuk penggunaan turbin angin dengan titik cut ini dibawah 3m/s masih mampu untuk menghasilkan listrik.

Tabel 2 Kec. Angin per bulan tahun 2004-2015

Bulan	Kec. Angin Rata-rata (m/s)
Jan	6,8
Feb	5,62
Mar	4,38
Apr	3,91
Mei	5,75
Jun	6,87
Jul	7,65
Agt	7,75
Sep	6,19
Oct	4,67
Nov	3,43
Des	5,15

D. Rumus Perhitungan Ekonomi

Pada perhitungan ekonomi ini akan dihitung biaya investasi, *payback periode*, *net present value* dan *internal rate of retrun.* Berikut Rumus-Rumus yang digunakan :

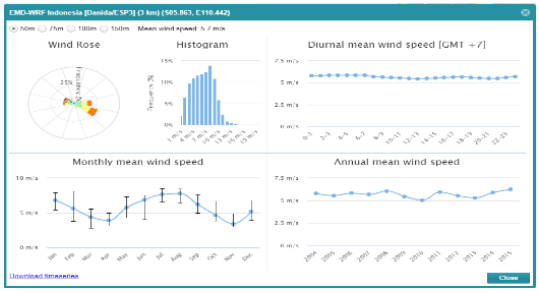
E. Data Turbin Angin B.Ventus 250 kWh

Turbin angin model B.Ventus 250 kW dipilih karena merupakan turbin angin tipe horisontal axis (HAWT) sehingga tingkat ketinggian lokasi rotor turbin bisa disesuaikan dengan kondisi kecepatan angin di suatu daerah. Dalam penelitian ini mengacu pada ketinggian 50 m. Berikut spesifikasi turbin angin model B.Ventus 250 kW :

F. Perhitungan Output Daya Turbin Angin

1. Memasukan data kecepatan angin

Buka website Indonesia Wind Prospecting kemudian *download* data kecepatan angin pada titik lokasi yang sudah ditentukan.



Gambar 3 Kec Angin tahun 2004-2015

Pada pojok kiri bawah ada menu untuk mengunduh data kecepatan angin pada lokasi yang sudah ditentukan. Klik untuk mengunduh data tersebut.

© MESTRO e-ISSN 2657 – 1072, All rights reserved

2. Probabilitas Kemunculan Kecepatan Angin

Setelah data kecepatan angin diunduh, masukkan tingkat kecepatan angin kedalam rumus Weibull probability sehingga presentase kemunculan kecepatan angin pada periode waktu akan diketahui.

3. Memasukkan data *power curve* turbin angin.

4. Subtitusi Kecepatan angin kedalam data *power curve* turbin angin.

Data kecepatan angin yang sudah berupa jumlah kemungkinan kemunculan angin dimasukkan kedalam rumus 2.5 sehingga akan diketahui total kWh produksi suatu turbin angin pada periode waktu tertentu. Hasil perhitungan *output* daya bisa dilakukan setiap jam sesuai dengan fluktuasi kecepatan angin. Dalam penelitian ini hasil yang disajikan perhitungan *output* daya turbin angin setiap bulan selama tahun 2015.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Menghitung Data PLTD

Perhitungan data pada PLTD dilakukan untuk mencari besarnya konsumsi bahan bakar setiap bulan selama tahun 2018 dan tahun 2017.

1. Menghitung Konsumsi dan Biaya Bahan Bakar PLTD 2017

TotalVfuelJan'17 = SFC x KwhNettJan'17
= 0,432 x 242.049
= 104.565,16 Ltr

Rp Bahan Bakar Jan'17
= TotalVfuelJan'17 x Harga
= 104.565,16 Ltr x Rp.12.449,70
= Rp.1.301.804.972,00

Setelah perhitungan per bulan di tahun 2017 diketahui, maka data konsumsi bahan bakar dan biaya untuk satu tahunnya bisa dilihat dalam table dibawah ini:

Tabel 4. Konsumsi dan biaya bahan bakar PLTD 2017

Bulan	Produksi (Kwh)	Bahan Bakar (Ltr)	Biaya Bahan Bakar (Rp)
Jan'17	242.049	104.565	Rp1.301.804.972
Feb'17	207.024	89.434	Rp1.113.428.362
Mar'17	259.016	111.895	Rp1.393.055.397
Apr'17	265.783	114.818	Rp1.429.450.153
Mei'17	313.181	135.294	Rp1.684.372.102
Jun'17	315.338	136.226	Rp1.695.970.342
Jul'17	321.383	138.837	Rp1.728.481.987
Agu'17	352.729	152.379	Rp1.897.069.251
Sep'17	354.992	153.356	Rp1.909.240.277
Okt'17	389.195	168.132	Rp2.093.195.948
Nov'17	343.176	148.252	Rp1.845.690.634
Des'17	352.467	152.266	Rp1.895.660.144
Total	371.6329	1.605.454	Rp19.987.419.568

2. Menghitung Konsumsi dan Biaya Bahan Bakar PLTD 2018

Bahan Bakar PLTD 2018
TotalVfuelJan'18 = SFC x KwhNettJan'18
= 0,432 x 341.972,5
= 147.732,1 Ltr
Rp Bahan Bakar Jan'18
= TotalVfuelJan'18 x Harga
= 147.732,1 Ltr x Rp.12.449,70
= Rp.1.839.220.574,00

Setelah perhitungan per bulan di tahun 2018 diketahui, maka data konsumsi bahan bakar dan biaya untuk satu tahunnya bisa dilihat dalam table dibawah in:

Tabel 4. Konsumsi dan biaya bahan bakar PLTD 2018

Bulan	Produksi Kwh	Bahan Bakar (Ltr)	Biaya Bahan Bakar (Rp)
Jan'18	341.973	147.732,1	Rp1.839.220.574
Feb'18	324.187	140.048,6	Rp1.743.562.657
Mar'18	392.771	169.676,9	Rp2.112.425.954
Apr'18	412.661	178.269,5	Rp2.219.401.635
Mei'18	441.924	190.911,2	Rp2.376.786.768
Jun'18	441.422	190.694,1	Rp2.374.084.510
Jul'18	464.074	200.479,8	Rp2.495.912.768
Agu'18	476.647	205.911,3	Rp2.563.533.762
Sep'18	508.043	219.474,4	Rp2.732.389.940
Okt'18	537.367	232.142,3	Rp2.890.102.341
Nov'18	531.569	229.637,6	Rp2.858.919.129
Des'18	540.626	233.550,4	Rp2.907.632.813
Total	5.413.259	2.338.528	Rp29.113.972.852

B. Menghitung Data PLTB

Perhitungan data pada PLTB dilakukan untuk mencari frekuensi kemunculan kecepatan angin pada setiap tingkat kecepatan dari kecepatan terendah sampai dengan kecepatan tertinggi dan menghitung *output daya* turbin angin. Data kecepatan angin yang digunakan adalah kecepatan angin selama tahun 2015.

1. Menghitung Frekuensi Kecepatan Angin per Hari

Frekuensi Kecepatan angin tanggal 1 Januari 2015, pada kecepatan 8 m/s :

$$w_p = \left(\frac{n_{ws}}{n_h}\right) \times 100\%$$

$$w_p(8) = \left(\frac{3}{24}\right) \times 100\%$$

$$w_p(8) = 13\%$$

5. Jadi frekuensi kemunculan angin dengan kecepatan 8 m/s sebesar 13% pada tanggal 1 Januari 2015

Dari perhitungan frekuesni kecepatan angin di atas kita bisa mengetahui frekuensi kecepatan angin selama satu hari di tanggal 1 Januari 2015. Berikut table frekuensi kecepatan angin pada tanggal 1 Januari 2015:

© MESTRO e-ISSN 2657 – 1072, All rights reserved

Tabel 4. Frekuensi Kecepatan Angin 1 Januari 2015

No	Windspeed (m/s)	Number of hour wind speed (h/d)	Weibull probability (%)
1	0	0	0,0%
2	1	0	0,0%
3	2	0	0,0%
4	2,5	0	0,0%
5	3	0	0,0%
6	4	0	0,0%
7	5	0	0,0%
8	6	0	0,0%
9	7	0	0,0%
10	8	3	12,5%
11	9	4	16,7%
12	10	5	20,8%
13	11	6	25,0%
14	12	6	25,0%
15	13	0	0,0%
16	14	0	0,0%
TOTAL		24	100%

2. Menghitung Frekuensi Kecepatan Angin per Bulan

a) Frekuensi kecepatan angin 8 m/s pada bulan Januari 2015

$$w_p = \left(\frac{n_{ws}}{n_h}\right) \times 100\%$$

$$w_p(8) = \left(\frac{153}{744}\right) \times 100\%$$

$$w_p(8) = 20{,}6\%$$

Dari rumus di atas kita bisa mengetahui frekuensi kecepatan angin selama bulan Januari 2015, berikut tabelnya:

Tabel 4. Frekuensi Kecepatan angin tanggal 1 Januari 2015

Windspeed (m/s)	Number of hour wind speed (h/m)	Weibull probability (%)
0	0	0,0%
1	0	0,0%
2	0	0,0%
2,5	1	0,1%
3	6	0,8%
4	14	1,9%
5	64	8,6%
6	112	15,1%
7	170	22,8%
8	153	20,6%
9	111	14,9%
10	59	7,9%
11	26	3,5%
12	20	2,7%
13	4	0,5%
14	2	0,3%
15	1	0,1%
16	0	0,0%
17	0	0,0%
18	1	0,1%
19	0	0,0%
20	0	0,0%
21	0	0,0%
22	0	0,0%
TOTAL	744	100%

3. Menghitung Output Daya Turbin Angin per bulan.

Kecepatan Angin 8 m/s pada Bulan Januari 2015

$$Monthly_{ep} = p_c \times n_{ws}$$

$$Monthly_{ep}(8) = 193kw \times 153h$$

$$Monthly_{ep}(8) = 29.529kWh$$

Jadi kecepatan angin 8 m/s selama 153 jam dalam bulan Januari 2015, menghasilkan *daya* sebesar 29.529 kWh. Dari hasil penghitungan rumus tersebut kita bisa mengetahui output daya turbin angin setiap bulannya.

Tabel 4. Output Daya Turbin Angin per bulan Tahun 2015.

Bulan	Output Turbin Angin (kWh)
Jan	117.347
Feb	63.911
Mar	34.897
Apr	15.811
Mei	98.602
Jun	109.706
Jul	141.011
Agt	140.567
Sept	114.167
Okt	89.525
Nov	9.852
Des	55.585
Total	990.981

Total output daya turbin angin selama tahun 2015 yaitu sebesar 990.981 kWh. Target suplai dari turbin

© MESTRO e-ISSN 2657 – 1072, All rights reserved

angin terhadap total beban puncak di Pulau karimunjawa yaitu 50%.

4. Menghitung Capacity Factor

Untuk menghitung *capacity factor* dibutuhkan output daya turbin angin selama tahun 2015, yaitu sebesar 990.981 kWh.

$$CF = \frac{p_{bruto}}{P_{\max out}} \times 100\%$$

$$CF = \frac{990.373kWh}{(\ 250kWx8760h)} \times 100\%\ CF = 45{,}2\%$$

Nilai *capacity factor* yang tinggi bisa disebabkan karena titik cut in turbin angin yang rendah, yaitu 2.5 m/s sehingga untuk mencapai output daya puncak akan semakin cepat.

C. Komparasi Data PLTD dengan PLTB.

Untuk mengetahui besarnya optimalisasi kWh PLTD Legon Bajak, kita harus komparasikan antara data PLTD dengan data PLTB. Dengan target 50% dari beban puncak PLTD, maka kita gunakan 3 unit *tind turbine generator*.

1. Komparasi data PLTD 2017 dengan PLTB 2015

Komparasi ini untuk melihat besarnya optimalisasi kWh PLTD pada tahun 2017 setelah adanya data dari PLTB 2015.

Tabel 4. Komparasi Data PLTD 2017 dengan PLTB 2015

Bulan	Produksi PLTD (kWh) 2017	3 Unit WTG (kwh) 2015	Produksi PLTD Setelah PLTB (kWh)
Jan	242.049	352.041	-109.992
Feb	207.024	191.733	15.291
Mar	259.016	104.691	154.325
Apr	265.783	47.433	218.350
Mei	313.181	295.806	17.375
Jun	315.338	329.118	-13.781
Jul	321.383	423.033	-101.651
Agust	352.729	421.701	-68.973
Sept	354.992	342.501	14.491
Okt	389.195	268.575	120.620
Nov	343.176	29.556	313.620
Des	352.467	166.755	185.712
Total	**3.716.329**	**2.972.943**	**743.386**

Berdasarkan table di atas pada bulan Januari, Juni, Juli dan Agustus beban PLTD berada dibawah total 3 unit *wind turbine generator*. Sehingga pada bulan tersebut kebutuhan listrik di Pulau Karimnjawa bisa disuplai oleh pembangkit listrik tenaga bayu (PLTB).

Tabel 4. Estimasi Penghematan PLTD 2017

Bulan	BBM (Liter)		BBM (Rupiah)	
	Sebelum WTG	Hybrid	Sebelum WTG	Hybrid
Jan-17	104.565	-47.517	Rp1.301.804.972,05	Rp-591.566.717,84
Feb-17	89.434	6.605	Rp1.113.428.362,15	Rp82.236.443,55
Mar-17	111.895	66.668	Rp1.393.055.396,79	Rp829.998.890,34
Apr-17	114.818	94.327	Rp1.429.450.152,59	Rp1.174.342.652,70
Mei-17	135.294	7.506	Rp1.684.372.102,14	Rp93.447.448,20
Jun-17	136.226	-5.953	Rp1.695.970.342,26	Rp-74.115.255,25
Jul-17	138.837	-43.913	Rp1.728.481.986,83	Rp-546.703.875,30
Agu-17	152.379	-29.796	Rp1.897.069.250,79	Rp-370.952.755,16
Sep-17	153.356	5.396	Rp1.909.240.276,70	Rp67.177.286,43
Okt-17	168.132	52.108	Rp2.093.195.948,33	Rp648.726.975,65
Nov-17	148.252	135.484	Rp1.845.690.633,66	Rp1.686.730.473,71
Des-17	152.266	80.227	Rp1.895.660.143,94	Rp998.806.663,39
Total	**1.605.454**	**321.143**	**Rp19.987.419.568,23**	**Rp3.998.128.230,44**

Dari table diatas penghematan yang bisa dicapai sebesar 80% dari biaya bahan bakar selama tahun 2017.

2. Komparasi data PLTD 2018 dengan PLTB 2015

Komparasi ini untuk melihat besarnya optimalisasi kWh PLTD pada tahun 2018 setelah adanya data dari PLTB 2015.

Tabel 4. Komparasi Data PLTD 2018 dengan PLTB 2015

Bulan	Produksi PLTD (kWh) 2018	3 Unit WTG (kwh) 2015	Produksi PLTD Setelah PLTB (kWh)
Jan	341.973	352.041	-10.069
Feb	324.187	191.733	132.454
Mar	392.771	104.691	288.080
Apr	412.661	47.433	365.228
Mei	441.924	295.806	146.118
Jun	441.422	329.118	112.304
Jul	464.074	423.033	41.041
Agust	476.647	421.701	54.946
Sep	508.043	342.501	165.542
Okt	537.367	268.575	268.792
Nov	531.569	29.556	502.013
Des	540.626	166.755	373.871
Total	**5.413.259**	**2.972.943**	**2.440.316**

Berdasarkan table di atas pada bulan Januari beban PLTD berada dibawah total 3 unit *wind turbine generator*. Sehingga pada bulan tersebut kebutuhan listrik di Pulau Karimnjawa bisa disuplai oleh pembangkit listrik tenaga bayu (PLTB).

© MESTRO e-ISSN 2657 – 1072, All rights reserved

Tabel 4. Estimasi Penghematan PLTD 2018

Bulan	BBM (Liter)		BBM (Rupiah)	
	Sebelum WTG (Ltr)	Hybrid (Ltr)	Sebelum WTG (Rp)	Hybrid (Rp)
Jan-18	147.732	-4.350	Rp1.839.220.574,36	Rp-54.151.115,52
Feb-18	140.049	57.220	Rp1.743.562.657,03	Rp712.370.738,43
Mar-18	169.677	124.450	Rp2.112.425.954,14	Rp1.549.369.447,70
Apr-18	178.269	157.778	Rp2.219.401.634,79	Rp1.964.294.134,91
Mei-18	190.911	63.123	Rp2.376.786.768,25	Rp785.862.114,31
Jun-18	190.694	48.515	Rp2.374.084.510,07	Rp603.998.912,56
Jul-18	200.480	17.729	Rp2.495.912.768,47	Rp220.726.906,35
Agu-18	205.911	23.736	Rp2.563.533.762,21	Rp295.511.756,26
Sep-18	219.474	71.514	Rp2.732.389.939,69	Rp890.326.949,69
Okt-18	232.142	116.118	Rp2.890.102.340,90	Rp1.445.633.368,22
Nov-18	229.638	216.869	Rp2.858.919.129,12	Rp2.699.958.969,18
Des-18	233.550	161.512	Rp2.907.632.813,27	Rp2.010.779.332,72
Total	**2.338.528**	**1.054.217**	**Rp29.113.972.852,32**	**Rp13.124.681.514,54**

Dari table diatas penghematan yang bisa dicapai sebesar 54.9% dari biaya bahan bakar selama tahun 2018.

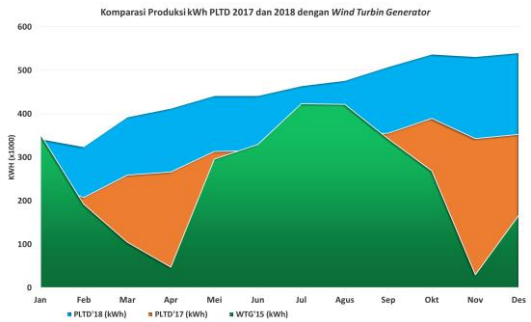
3. Komparasi Produksi kWh PLTD Tahun 2017 dan Tahun 2018 dengan Turbin Angin.
   Komparasi ini untuk melihat perbandingan secara langsung kontribusi *output daya* 3 unit turbin angin terhadap produksi kWh PLTD tahun 2017 dan 2018.

Tabel 4. Komparasi kWh PLTD 2017 dan 2018 dengan Turbin Angin

Bulan	**PLTD'18 (kWh)**	**PLTD'17 (kWh)**	**WTG'15 (kWh)**
Jan	341.973	242.049	352.041
Feb	324.187	207.024	191.733
Mar	392.771	259.016	104.691
Apr	412.661	265.783	47.433
Mei	441.924	313.181	295.806
Jun	441.422	315.338	329.118
Jul	464.074	321.383	423.033
Agus	476.647	352.729	421.701
Sep	508.043	354.992	342.501
Okt	537.367	389.195	268.575
Nov	531.569	343.176	29.556
Des	540.626	352.467	166.755
Total	**5.413.259**	**3.716.329**	**2.972.943**

kenaikan beban listrik selama tahun 2017 ke tahun 2018 sebesar 45,7%. Kontribusi suplai energi listrik dari turbin angin terhadap terhadap beban listrik di tahun 2017 sebesar 80% sedangkan kontribusi terhadap beban listrik pada tahun 2018 sebesar 54,8%.

Untuk melihat operasional turbin angin dan PLTD berdasarkan produksi kWh berikut grafiknya:



Gambar 4. Komparasi kWh PLTD 2017 dan 2018 dengan WTG 2015

Dari grafik tersebut secara keseluruhan turbin angin mampu menjadi sumber energi listrik alternatif, sehingga bisa digunakan dalam upaya optimalisasi produksi kWh PLTD dan mengurangi biaya tingginya biaya operasional bahan bakar.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dari penelitian yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Rata-rata kecepatan angin di Pulau Karimunjawa selama tahun 2015 sebesar 6,1 m/s pada ketinggian 50 m. Besarnya *annual energy production* dari satu unit *wind turbine generator* model b.ventus 250 kw adalah 990.981 kWh.
2. Komparasi produksi kWh dari PLTD tahun 2017 dengan 3 unit *output daya wind turbine* dengan acuan kecepatan angin 2015 menghasilkan kontribusi sebesar 80 % dari total produksi kWh PLTD. Sedangkan komparasi produksi kWh dari PLTD tahun 2018 dengan 3 unit *output daya wind turbine* dengan acuan kecepatan angin 2015 menghasilkan kontribusi sebesar 54,9 % dari total produksi kWh PLTD.
3. Dari perhitungan besarnya kontribusi *wind turbine generator* tersebut besarnya optimalisasi produksi kWh PLTD tahun 2018 yaitu sebesar 2.972.943 kWh per tahun dan akan memangkas konsumsi bahan bakar sebesar 1.284.311,4 liter dengan asumsi harga per liter solar industri Rp.12.449,7 maka akan menghemat biaya operasional sebesar Rp.15.989.291.338,00 per tahun.
4. Berdasarkan data kecepatan angin dari tahun 2004 sampai dengan tahun 2015 rata-rata fluktuasi kecepatan angin per tahun sebesar 7,45%. Jadi sesuai dengan program RUEN oleh pemerintah kecepatan angin tahun 2015 masih relevan untuk digunakan sebagai upaya optimalisasi produksi kWh PLTD tahun 2018. Terbukti pada data komparasi antara produksi kWh PLTD tahun 2017 dan

© MESTRO e-ISSN 2657 – 1072, All rights reserved

tahun 2018 dengan *output daya* 3 unit turbin angin model b.ventus kapasitas 250 kw dengan acuan kecepatan angin tahun 2015 masih memberikan kontribusi lebih dari 50% dari total beban listrik di Pulau Karimunjawa.

REFERENSI

[1] S. Safrizal. 2015. Kajian Potensi Sistem Konversi Energi Angin (SKEA) Solusi Listrik Alternatif Pada Pulau Karimunjawa, Jurnal Disprotek. Universitas Islam Nahdlatul Ulama.
[2] Wiranti dan Utomo. 2013. Studi Pemilihan Turbin Berdasarkan Potensi Energi Angin Pada Kawasan Bandara Depati Amir, Pangkal Pinang. Departemen Teknik Elektro. Universitas Indonesia.
[3] Permana, Wibawa dan Utomo. 2014. Studi Analisis Pembangkit Listrik Hybrid (Diesel-Angin) Di Pulau Karimunjawa. Universitas Brawiyaja.
[4] Habibi M, Sasmito A, Kurniawan R. 2011. Kajian Potensi Angin Di Wilayah Sulawesi dan Maluku. Jurnal Meteorologi dan Geofisika.Vol 12 : 181-187
[5] Suripno dan Ibrahim M. 2008. Analisa Potensi Energi Angin dan Estimasi Energi Output Turbin Angin di Lebak Banten.LAPAN
[6] Model dan spesifikasi data turbin angin www.en.wind-turbine-models.com.
[7] Daftar harga BBM Solar Industri www.solarindustri.co.id
[8] Peta energi angin Indonesa, www.indonesia.windprospecting.com

 © MESTRO e-ISSN 2657 – 1072, All rights reserved