

Studi Kapasitas Daya Pembangkit Listrik Tenaga Hibrida Angin dan Surya Berkapasitas 6 kW berdasarkan Skenario Cuaca

SYAHRIAL, WALUYO, AHMAD FARID FAKHRULLAH

Teknik Elektro Institut Teknologi Nasional Bandung
Email : syahril.chaniago@gmail.com

Received 7 Agustus 2017 | *Revised* 21 September 2017 | *Accepted* 23 September 2017

ABSTRAK

Pembangkit listrik tenaga hibrida angin dan surya adalah suatu pembangkit listrik yang menggunakan gabungan antara tenaga angin dan tenaga sinar matahari. Penelitian dilakukan dengan metode probabilitas distribusi normal terhadap kecepatan angin dan radiasi matahari yaitu terjadinya kecepatan angin lebih dari 3,73 m/s adalah berpeluang sebesar 78,81% dan terjadinya radiasi matahari lebih dari 0,397 kW/m² berpeluang sebesar 92,79%. Kemudian dirancang dua desain pembangkit listrik tenaga angin dan surya berdasarkan nilai investasi dan keandalan, yaitu desain pertama terdiri dari satu unit turbin angin horizontal berkapasitas 3 kW dengan panel surya berkapasitas 3 kW sedangkan desain kedua terdiri dari satu unit turbin angin horizontal berkapasitas 4 kW dengan panel surya berkapasitas 2 kW, selanjutnya dilakukan beberapa skenario cuaca antara lain saat radiasi matahari 0,439 kW/m² dengan probabilitas 78,23% dan saat panel surya tidak dapat menghasilkan daya dikarenakan tidak adanya sinar matahari. Desain pembangkit kedua memiliki keandalan dan nilai investasi lebih kecil yaitu Rp 119.591.000 dibandingkan desain pertama.

Kata kunci: hibrida, metode probabilitas, investasi, keandalan, skenario cuaca

ABSTRACT

A wind and solar hybrid power plant is a power plant that uses a combination of wind power and solar. The research was done by probability method of normal distribution to wind speed and solar radiation that was wind velocity more than 3.73 m/s as a probability equal to 78.81% and the occurrence of solar radiation more than 0.397 kW/m² had a chance equal to 92.79%. Further more, design of the two wind and solar power plant based on the investment and reliability, the first design consisted of 3 kW horizontal axis wind turbine unit with 3 kW solar panel while the second design consisted of 4 kW horizontal axis wind turbine unit with the solar panel 2 kW capacity. Further more, it was conducted some weather scenarios when the occurrence of solar radiation more than 0.439 kW/m² had a chance equal to 78.23% and the solar panel could not produced power because of the absence of sun ray. The second design had reliability and lower investation value that is Rp 119.591.000 compared to the first design.

Keywords: hybrid, probability method, investation, reliability, weather scenario

1. PENDAHULUAN

Pada saat ini kondisi bumi kian lama mengkhawatirkan karena tercemarnya lingkungan dari efek rumah kaca yang menyebabkan *global warming*, hujan asam, rusaknya lapisan ozon hingga hilangnya hutan tropis. Semua jenis polusi itu rata-rata akibat dari penggunaan bahan bakar fosil yang tiada hentinya. Bahan bakar fosil seperti batubara, gas alam atau minyak bumi. Saat ini pembangkit listrik sangat tergantung dengan bahan bakar fosil. Bahan bakar fosil lambat laun akan habis karena bahan bakar dari fosil tidak dapat diperbaharui, sementara kebutuhan listrik setiap tahunnya semakin meningkat.

Perlu adanya pengembangan sumber energi alternatif yang dapat memberikan tambahan atau menggantikan bahan bakar fosil untuk menyuplai energi listrik. Pengembangan energi alternatif angin dan surya ditekankan karena jumlah energinya cukup memadai di negeri ini. Menurut Balai Besar Teknologi Energi BPPT, Indonesia memiliki beberapa lokasi yang potensial untuk pengembangan Pembangkit Listrik Tenaga Bayu. Berdasarkan Peta Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Bayu di Indonesia pada tahun 2015 terdapat 23 lokasi yang berpotensi dalam pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Bayu karena memiliki ketersediaan energi angin (**Andhika, dkk, 2015**). Menurut Badan Pengkajian Penerapan Teknologi dan Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika sebagai negara tropis Indonesia mempunyai potensi energi surya yang cukup besar. Berdasarkan data penyinaran matahari yang dihimpun dari 18 lokasi di Indonesia.

Berdasarkan peta potensi Pembangkit Listrik Tenaga Bayu di Indonesia pada tahun 2015, peneliti memilih lokasi di Desa Mancagahar, Kecamatan Pameungpeuk Kabupaten Garut, Jawa Barat karena memiliki potensi kecepatan angin rata-rata dalam setahun adalah 4,57 m/s dan memiliki potensi radiasi matahari rata-rata dalam setahun adalah 5,05 kWh/m². Dari data tersebut maka dapat dimanfaatkan menghasilkan energi listrik dengan sistem hibrida (kecepatan angin dan sinar matahari) untuk memenuhi beban pemukiman di desa tersebut.

Sistem hibrida angin dan surya tidak sepenuhnya tergantung pada satu komponen energi saja, namun juga dapat saling mengisi dalam keterbatasan masing-masing. Energi hibrida memanfaatkan keuntungan-keuntungan yang dihasilkan dari komponen-komponen energi penyusunnya. Misalnya pada saat cuaca mendung dan atau pada malam hari dimana energi matahari yang diterima bumi tidak maksimal, pembangkit listrik akan digerakkan oleh turbin angin dari energi angin. Kedua sumber energi tersebut dirancang untuk mengoptimalkan sistem pembangkit guna memenuhi kebutuhan beban yang bervariasi sebagai fungsi waktu. Dengan demikian kebutuhan akan listrik akan tetap terpenuhi dalam kondisi apapun.

Bertambahnya jumlah penduduk dunia menyebabkan meningkatnya kebutuhan untuk memenuhi kebutuhan hidup manusia. Tentu saja hal ini menjadi indikasi terjadinya krisis energi di dunia. Di Indonesia sendiri sektor energi merupakan masalah yang serius, karena laju permintaan energi di dalam negeri melebihi pertumbuhan pasokan energi itu sendiri. Bahan bakar fosil sebagai bahan bakar konvensional yang selama ini menjadi prioritas penggunaan utama di Indonesia telah lama di impor guna mengatasi permintaan yang melonjak dari tahun ke tahun sehingga ketahanan energi nasional rentan terhadap fluktuasi harga dan pasokan atau permintaan minyak mentah dunia (**Handayani, 2012**).

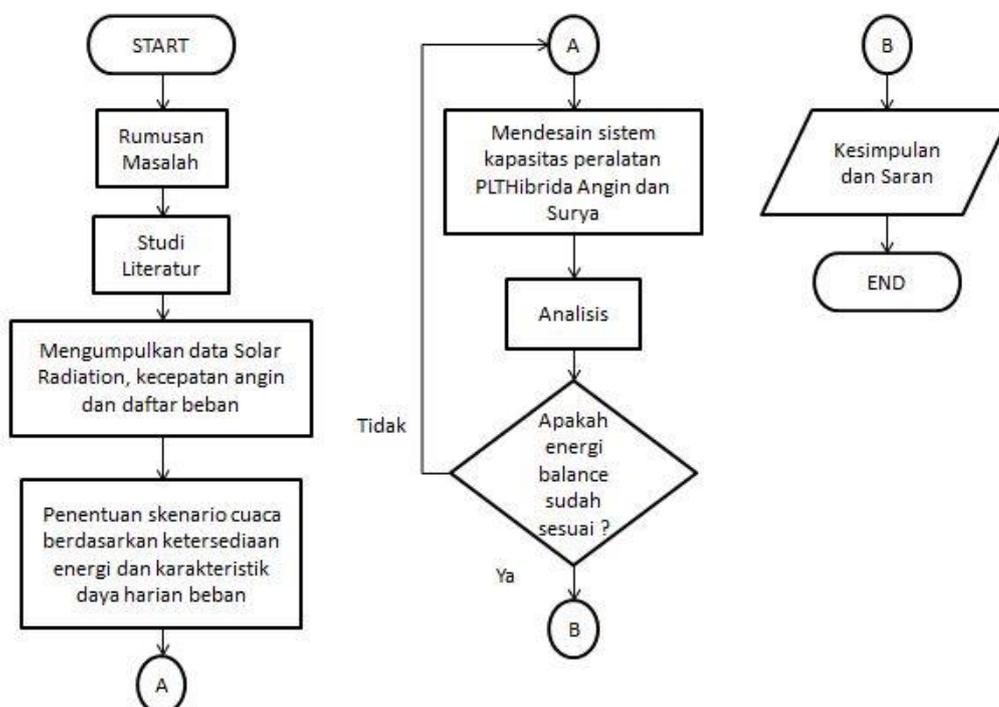
Bagaimana pun juga, sistem pembangkit energi terbarukan *grid-connected* dapat menjadi solusi permasalahan selama ini karena pembangkit listrik ini tidak menimbulkan polusi (**Khatib, 2013**). Total biaya yang diharuskan sangat besar dikarenakan menggunakan sistem *grid-connected* (**Hessami, 2010**). Maka solusinya adalah sistem pembangkit *isolated* dapat menjadi sumber daya listrik alternatif untuk mencukupi kebutuhan listrik di kawasan terpencil

karena belum semua daerah atau rakyat di Indonesia dapat menikmati listrik. Hal ini disebabkan kebutuhan investasi yang besar, dan jangkauan saluran transmisi dan distribusi yang masih terbatas. (Syahrial, dkk, 2017).

2. METODA PENELITIAN

2.1 Bagan Alur Pengerjaan

Metodologi penelitian merupakan langkah-langkah yang akan dilakukan dalam penelitian. Langkah-langkah ini saling berkaitan satu dengan yang lain dan berurutan. Langkah-langkah penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.

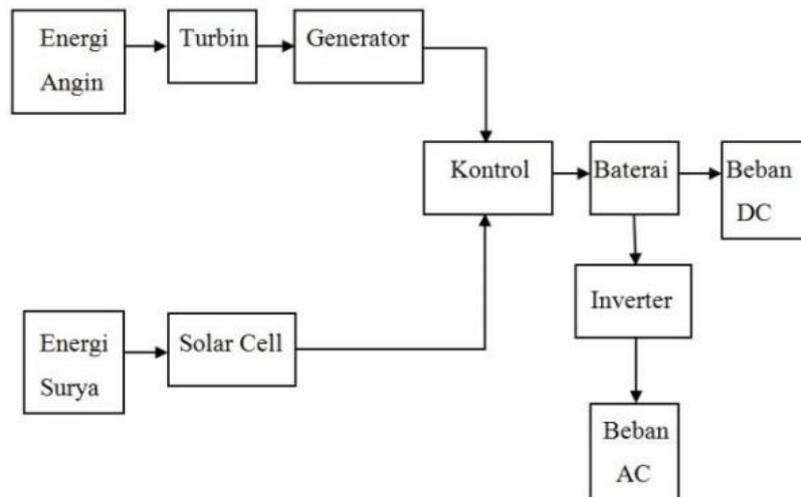


Gambar 1. Flowchart

Penelitian diawali dengan melakukan studi literatur dan menetapkan metode. Selanjutnya mengumpulkan data *solar radiation*, kecepatan angin dan daftar beban. Menentukan skenario cuaca berdasarkan ketersediaan energi dan karakteristik daya harian beban, kemudian mendesain sistem kapasitas peralatan pembangkit listrik tenaga hibrida angin dan surya yaitu menggunakan dua model desain. Setelah itu, menghitung daya yang dihasilkan pembangkit lalu menghitung analisis ekonomi untuk memilih desain dengan pertimbangan nilai investasi dan biaya operasional, setelah menentukan desain lalu melakukan pengujian dengan cara melakukan beberapa skenario cuaca.

Perencanaan Sistem Pembangkit

Blok Diagram Sistem Hibrida Angin dan Surya diperlihatkan oleh Gambar 2 (Utami, 2016).



Gambar 2. Blok Diagram

Energi angin memutarakan oleh turbin angin horizontal, setelah itu memutarakan generator untuk membangkitkan energi listrik. Energi surya diserap oleh modul surya lalu dikonversi menjadi energi listrik. Energi listrik yang dihasilkan oleh turbin angin horizontal dan modul surya digabungkan ke dalam sistem kontrol sebagai pengaturan untuk melakukan sistem penyimpanan energi listrik ke dalam baterai dan menghentikan pengisian apabila kapasitas baterai telah terisi penuh. Energi yang disimpan pada baterai dapat disalurkan langsung ke beban DC dan dapat menggunakan inverter sebagai perubah tegangan DC keluaran baterai menjadi tegangan AC yang dibutuhkan beban AC.

Perhitungan Probabilitas Distribusi Normal

Menghitung probabilitas distribusi normal menggunakan Rumus (1).

$$Z = \frac{X - \mu}{\sigma} \quad (1)$$

Mencari rata-rata kecepatan angin dan radias matahari.

$$\mu = \frac{\sum X}{n} \quad (2)$$

Mencari standar deviasi.

$$\sigma^2 = \frac{(X - \mu)^2}{n - 1} \quad (3)$$

Probabilitas nilai peluang kecepatan angin dan radiasi matahari.

$$P(Z_x) = Z_{tabel} \times 100\% \quad (4)$$

Probabilitas peluang terjadinya kecepatan angin dan radiasi matahari.

$$\begin{aligned} P(X \geq X_x) &= 1 - P(X \leq X_x) \\ &= (1 - P(Z_x)) \times 100\% \end{aligned} \quad (5)$$

Keterangan :

- Z = peubah acak normal
- X = nilai dari distribusi variabel
- $\sum X$ = jumlah nilai dari distribusi variabel
- μ = mean dari nilai-nilai distribusi variabel
- n = banyaknya nilai dari distribusi variabel
- σ = standar deviasi dari nilai-nilai distribusi variabel
- Z_{tabel} = nilai didapat dari kurva probabilitas normal

Perhitungan Turbin Angin (Inayah, 2015)

Daya yang dapat diekstraksi oleh turbin angin jenis horizontal adalah sebagai berikut :

$$P_{wind} = \frac{1}{2} (\rho \cdot V_{wind}^3 \cdot A) \quad (6)$$

Keterangan :

- P_{wind} = daya angin [Watt]
- ρ = massa jenis udara = 1.225 [Kg/m³]
- V_{wind} = Kecepatan angin konstan [m/s]
- A = luas penampang [m²]

Untuk luas turbin angin horizontal adalah :

$$A = \pi \times R^2 \quad (7)$$

Dimana :

- R = jari – jari bilah [m]

Perhitungan Modul Surya (Ismail, 2017)

Modul surya digunakan sebagai alat penyerap energi matahari dan mengkonversikannya menjadi energi listrik. Untuk menghitung kebutuhan modul surya maka diperlukan beberapa parameter seperti insolasi matahari, *Fill Factor*, daya maksimum modul, daya masukan dan keluaran modul, serta efisiensi dari modul surya yang digunakan. Beberapa parameter ini dapat dihitung dengan persamaan-persamaan berikut.

Untuk menghitung :

$$P_{maxmodul} = V_{mp} \times I_{mp} \times FF \quad (8)$$

$$P_{inmodul} = \text{intensitas cahaya} \times \text{luas modul} \quad (9)$$

$$\eta = \frac{P_{max\ modul}}{P_{in}} \times 100\% \quad (10)$$

$$P_{outmodul} = A \times S \times \eta \quad (11)$$

$$\Sigma_{modul} = \frac{E_{total}}{\text{Daya output modul} \times \text{lama penyinaran}} \quad (12)$$

Keterangan :

- FF = *Fill Factor*
- V_{mp} = Tegangan modul saat *maximum point* (V)
- I_{mp} = Arus modul saat *maximum point* (A)
- VOC = Tegangan *open circuit* modul (V)

ISC	= Arus <i>short circuit</i> modul (A)
Pmax modul	= Daya maksimum keluaran modul (W)
Pin modul	= Daya masukan modul dari cahaya matahari (W)
Pout modul	= Daya keluaran modul (W)
η	= Efisiensi Modul (%)
Amodul	= Luas permukaan modul (m ²)
S	= Insolasi Matahari (kWh/m ² /hari)

Perhitungan Baterai

Baterai digunakan untuk menampung energi yang dihasilkan oleh modul surya untuk selanjutnya disalurkan ke beban melalui inverter. Untuk menentukan jumlah baterai yang akan digunakan perlu diketahui terlebih dahulu luas daerah delta (selisih dari kemampuan daya turbin angin horizontal, panel surya dan beban pemukiman) dapat ditentukan dengan persamaan:

$$\Sigma \text{baterai} = \frac{\text{Total Luas daerah}}{\text{Kapasitas baterai per unit}} \quad (13)$$

2.3 Lokasi Perencanaan Pembangkit Listrik Hibrida Angin dan Surya

Pada penelitian ini penulis membahas mengenai Pembangkit Listrik Tenaga Hibrida Angin dan Surya yang menggunakan baterai sebagai penyimpan energi (*storage system*). Pada kasus ini penulis berdasarkan buku peta potensi energi angin Indonesia mengambil sampel yaitu pada Desa Mancagahar, Kecamatan Pameungpeuk Kabupaten Garut, Jawa Barat yang terletak pada koordinat 07°37'42.14"S 107°31'55.01"E. Lokasi ini dipilih karena memiliki kecepatan angin rata-rata yang besar yaitu 6,6 m/s dan memiliki kecepatan angin yang cukup potensial untuk pembangunan pembangkit listrik tenaga angin.

Batas wilayah Desa Mancagahar

Sebelah utara: Desa Jatimulya Kecamatan Pameungpeuk

Sebelah selatan: Samudra Indonesia

Sebelah timur: Desa Jatimulya Mandalakasih Kecamatan Pameungpeuk

Sebelah barat: Desa Pamalayan Kecamatan Cikelet

Potensi sumber daya manusia

Jumlah laki-laki: 2618 orang

Jumlah perempuan: 2968 orang

Jumlah total: 5576 orang

Jumlah kepala keluarga: 1469 KK

Desa Mancagahar terdiri dari 39 Rukun Tetangga dan 8 Rukun Warga, sebagian besar bermata pencaharian sebagai buruh tani, petani dan nelayan (**BPS Kab Garut, 2015**).

2.4 Penentuan Skenario Cuaca

Pada tahap ini penulis melakukan pencarian kondisi cuaca terburuk dalam sebulan atau setahun yang terjadi akibat kondisi cuaca. Penulis menentukan kriteria keandalan sistem dan membuat skenario serta penanganan yang terjadi jika kondisi terburuk berlangsung lama maupun sebentar. Maka penulis akan memperoleh data daya terkecil dan daya rata-rata yang dihasilkan oleh pembangkit listrik tenaga Angin dan Surya.

Metode skenario cuaca dilakukan dengan cara pemilihan kecepatan angin dan insolasi matahari antara lain:

- a) Saat radiasi matahari 0,439 kW/m² dengan probabilitas 78,23%.
- b) Saat panel surya tidak dapat menghasilkan daya dikarenakan tidak adanya sinar matahari.

3. HASIL PERHITUNGAN DAN PEMBAHASAN

3.1 Potensi Kecepatan Angin dan Insolasi Matahari

Potensi kecepatan angin diperlihatkan oleh Tabel 1. Kecepatan tertinggi pada bulan Agustus sebesar 6,15 m/s, kecepatan terendah pada bulan Maret sebesar 3,32 m/s dan kecepatan rata-rata dalam setahun adalah 4,57 m/s.

Tabel 1. Kecepatan Angin

Bulan	Kec Angin (m/s)
Januari	3,930
Februari	4,000
Maret	3,320
April	3,730
Mei	4,800
Juni	5,200
Juli	6,090
Agustus	6,150
September	5,910
Oktober	4,700
November	3,930
Desember	3,170

Mencari rata-rata kecepatan angina.

$$\mu = \frac{3,93+4,0+3,32+3,73+4,8+5,2+6,09+6,15+5,91+4,7+3,93+3,17}{12} = 4,578$$

Mencari standar deviasi.

$$\sigma^2 = \frac{(X - \mu)^2}{n - 1} = 1,1309$$

$$\sigma = 1,063$$

Mencari nilai Z menggunakan rumus $Z = \frac{X - \mu}{\sigma}$ dan nilai peluang P(Zn)

$$Z_{4,0} = \frac{4,0 - 4,578}{1,063} = -0,543$$

$$P(Z_{4,0}) = 0,2946 \times 100\% = 29,46\%$$

$$Z_{3,73} = \frac{3,73 - 4,578}{1,063} = -0,796$$

$$P(Z_{3,73}) = 0,2119 \times 100\% = 21,19\%$$

$$Z_{5,2} = \frac{5,2 - 4,578}{1,063} = 0,585$$

$$P(Z_{5,2}) = 0,7224 \times 100\% = 72,24\%$$

$$Z_{6,09} = \frac{6,09 - 4,578}{1,063} = 1,422$$

$$P(Z_{6,09}) = 0,9222 \times 100\% = 92,22\%$$

$$Z_{4,7} = \frac{4,7 - 4,578}{1,063} = 0,115$$

$$P(Z_{4,7}) = 0,5478 \times 100\% = 54,78\%$$

Maka dapat diketahui probabilitas peluang kecepatan angin.

$$\begin{aligned} P(X \geq 3,73) &= 1 - P(X \leq 3,73) \\ &= 1 - P(Z_{3,73}) \\ &= 1 - 0,2119 \\ &= 0,7881 \\ &= 78,81\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P(X \geq 5,2) &= 1 - P(X \leq 5,2) \\ &= 1 - P(Z_{5,2}) \\ &= 1 - 0,7224 \\ &= 0,2776 \\ &= 27,76\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P(X \geq 4,0) &= 1 - P(X \leq 4,0) \\ &= 1 - P(Z_{4,0}) \\ &= 1 - 0,2946 \\ &= 0,7054 \\ &= 70,54\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P(X \geq 6,09) &= 1 - P(X \leq 6,09) \\ &= 1 - P(Z_{6,09}) \\ &= 1 - 0,9306 \\ &= 0,0649 \\ &= 6,94\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P(X \geq 4,7) &= 1 - P(X \leq 4,7) \\ &= 1 - P(Z_{4,7}) \\ &= 1 - 0,5478 \\ &= 0,4522 \\ &= 45,22\% \end{aligned}$$

Potensi insolasi matahari diperlihatkan oleh Tabel 2. Radiasi matahari tertinggi pada bulan September sebesar 5,54 kWh/m², radiasi matahari terendah pada bulan Januari sebesar 4,28 kWh/m² dan radiasi matahari rata-rata dalam setahun adalah 5,05 kWh/m².

Tabel 2. Radiasi Matahari

Bulan	Clearness index	Daily Radiation (kWh/m ² /d)
Januari	0,397	4,280
Februari	0,413	4,470
Maret	0,437	4,590
April	0,483	4,720
Mei	0,532	4,730
Juni	0,541	4,550
Juli	0,558	4,800
Agustus	0,562	5,250
September	0,545	5,540
Oktober	0,506	5,390
November	0,439	4,710
Desember	0,426	4,570

Mencari rata-rata radiasi matahari.

$$\mu = \frac{0,397+0,413+0,437+0,483+0,532+0,541+0,558+0,562+0,545+0,506+0,439+0,426}{12} = 0,486$$

Mencari standar deviasi.

$$\sigma^2 = \frac{(X - \mu)^2}{n - 1} = 0,0037$$

$$\sigma = 0,061$$

Mencari nilai Z menggunakan rumus $Z = \frac{x - \mu}{\sigma}$ dan nilai peluang $P(Z_n)$.

$$Z_{0,397} = \frac{0,397 - 0,486}{0,061} = -1,46$$

$$P(Z_{0,397}) = 0,0721 \times 100\% = 7,21\%$$

$$Z_{0,483} = \frac{0,483 - 0,486}{0,061} = -0,06$$

$$P(Z_{0,483}) = 0,4602 \times 100\% = 46,02\%$$

$$Z_{0,532} = \frac{0,532 - 0,486}{0,061} = 0,74$$

$$P(Z_{0,532}) = 0,7704 \times 100\% = 77,04\%$$

$$Z_{0,439} = \frac{0,439 - 0,486}{0,061} = -0,78$$

$$P(Z_{0,397}) = 0,2177 \times 100\% = 21,77\%$$

Maka dapat diketahui probabilitas peluang radiasi matahari.

$$\begin{aligned} P(X \geq 0,397) &= 1 - P(X \leq 0,397) \\ &= 1 - P(Z_{0,397}) \\ &= 1 - 0,0721 \\ &= 0,9279 \\ &= 92,79\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P(X \geq 0,439) &= 1 - P(X \leq 0,439) \\ &= 1 - P(Z_{0,439}) \\ &= 1 - 0,2177 \\ &= 0,7823 \\ &= 78,23\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P(X \geq 0,483) &= 1 - P(X \leq 0,483) \\ &= 1 - P(Z_{0,483}) \\ &= 1 - 0,4602 \\ &= 0,5398 \\ &= 53,98\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P(X \geq 0,532) &= 1 - P(X \leq 0,532) \\ &= 1 - P(Z_{0,532}) \\ &= 1 - 0,7704 \\ &= 0,2296 \\ &= 22,96\% \end{aligned}$$

3.2 Pengaturan Suplai Beban

Beban harian pemukiman diperlihatkan oleh Gambar 3. Beban harian pemukiman tertinggi sebesar 5,7 kW, beban pemukiman terendah sebesar 1,99 kW, dan beban harian pemukiman rata-rata adalah 3,91 kW.



Gambar 3. Beban Harian Pemukiman

Desain pertama ini mengutamakan kinerja turbin angin horizontal dikarenakan angin selalu ada sepanjang hari maka turbin angin didesain menyuplai beban 3 kW namun :

- Apabila kecepatan angin tidak dapat mencukupi untuk turbin angin horizontal menghasilkan daya dan sinar matahari tidak ada, maka hal ini dapat di-*back up* oleh baterai.
- Apabila turbin angin horizontal didesain menyuplai 3 kW dan sinar matahari tidak ada, sementara terdapat selisih beban, maka hal ini dapat di-*back up* oleh baterai.
- Pada saat terdapat sinar matahari (jika dilihat dari data grafik insolasi matahari), dari jam 09.00 sampai jam 15.00 terdapat selisih antara beban dengan suplai turbin angin horizontal hal ini digunakan untuk panel surya untuk mem-*back up* daya tersebut tergantung dengan adanya sinar matahari.

3.3 Komposisi Optimal Pembangkit Listrik Tenaga Angin dan Surya

Untuk mendapatkan desain pembangkit listrik, terlebih dahulu menentukan probabilitas kecepatan angin yang berpeluang besar ada yaitu pada kecepatan angin lebih dari 3,73 m/s dengan probabilitas 78,81% dan dibutuhkan beberapa pembandingan kuantitas turbin angin horizontal satu unit berkapasitas 3 kW dan satu unit berkapasitas 4 kW yang bertujuan mencari delta (selisih dari daya turbin angin horizontal dengan beban). Setelah mendapat delta (selisih dari daya angin dengan beban), maka panel surya akan mem-*back up* daya pada saat terdapat sinar matahari, terlebih dahulu menentukan probabilitas radiasi matahari yang berpeluang besar ada yaitu pada radiasi matahari lebih dari 0,397 kW/m² dengan probabilitas 92,79% untuk mendapatkan komposisi dilakukan beberapa pembandingan kuantitas panel surya 20 unit, 14 unit dan 6 unit yang bertujuan untuk memenuhi beban agar tidak terdapat delta. Berikut ini data spesifikasi turbin angin horizontal dan panel surya.

Tabel 3. Spesifikasi Turbin Angin Horizontal

Model	FD4-3000w
Rotor diameter	6 m
Number of blades	3 pcs
Materail of blades	Fibre glass epoxy
Cut-in wind speed	2 m/s
Working wind speed	3-30 m/s
Survival wind speed	40 m/s
Rated wind speed	10 m/s
Rated rotate speed	300 r/min
Rated output power	3 kW
Max output power	4 kW
Type of tower	Independence tower
Type of generator	Permanent-magnet 3 phase AC
Speed regulation method	Yaw+handly brake system
Working voltage	48 V, 96 V, 120 V, 240 V
Tower height	8 – 25 m

Tabel 4. Spesifikasi Panel Surya

Power output (W)	250
Voltage at Pmax (Vmp)	31,2
Current at Pmax (Imp)	8,02
Open-circuit voltage (Voc)	37,9
Short-circuit current (Isc)	8,56
Dimensi Modul	1650 mm x 992 mm

Studi Kapasitas Daya Pembangkit Listrik Tenaga Hibrida Angin dan Surya Berkapasitas 6 kW berdasarkan skenario cuaca

Perhitungan penentuan komposisi komponen diperlihatkan oleh Tabel 5.

Tabel 5. Perhitungan Penentuan Komposisi Komponen

Jam	Beban (kW)	Potensi		Daya (kW)		Delta (kW)		probabilitas 92,79% adalah radiasi matahari 0,397 kW/m ² Pout Modul 0,13 kW			1 unit Wind Turbine (3 kW)			1 unit Wind Turbine (4 kW)			Baterai			
		Kec Angin (m/s)	Global Solar (kW/m ²)	Turbin Angin	Panel Surya	1 unit (3kW)	1 unit (4 kW)	20 unit PV	14 unit PV	6 unit PV	20 unit PV	14 unit PV	6 unit PV	20 unit PV	14 unit PV	6 unit PV	1 unit WT (3 kW) dan 14 PV		1 unit WT (4 kW) dan 6 PV	
																	WT (+)	PV (-)	WT (+)	PV (-)
01.00	1,99	5,719	0,00	0,36	0,00	1,01	2,01										1,01		2,01	
02.00	2,46	5,027	0,00	0,24	0,00	0,54	1,54										0,54		1,54	
03.00	2,22	3,522	0,00	0,08	0,00	0,78	1,78										0,78		1,78	
04.00	2,69	3,995	0,00	0,12	0,00	0,31	1,31										0,31		1,31	
05.00	2,59	4,049	0,00	0,13	0,00	0,41	1,41										0,41		1,41	
06.00	2,32	4,654	0,05	0,19	0,01	0,68	1,68										0,68		1,68	
07.00	3,19	3,571	0,35	0,09	0,07	-0,19	0,81											-0,19		0,81
08.00	3,05	4,104	0,67	0,13	0,13	-0,05	0,95											-0,05		0,95
09.00	3,46	4,514	0,94	0,18	0,18	-0,46	0,54	2,60	1,82	0,78	2,14	1,36	0,32	3,14	2,36	1,32	2,14			2,36
10.00	3,28	4,323	1,16	0,16	0,23	-0,28	0,72	2,60	1,82	0,78	2,32	1,54	0,50	3,32	2,54	1,50	2,32			2,54
11.00	4,35	5,846	1,30	0,38	0,25	-1,35	-0,35	2,60	1,82	0,78	1,25	0,47	-0,57	2,25	1,47	0,43	1,25			1,47
12.00	4,38	5,334	1,36	0,29	0,27	-1,38	-0,38	2,60	1,82	0,78	1,22	0,44	-0,60	2,22	1,44	0,40	1,22			1,44
13.00	4,76	6,027	1,33	0,42	0,26	-1,76	-0,76	2,60	1,82	0,78	0,84	0,06	-0,98	1,84	1,06	0,02	0,84			1,06
14.00	4,23	7,112	1,21	0,69	0,24	-1,23	-0,23	2,60	1,82	0,78	1,37	0,59	-0,45	2,37	1,59	0,55	1,37			1,59
15.00	4,36	6,359	1,02	0,49	0,20	-1,36	-0,36	2,60	1,82	0,78	1,24	0,46	-0,58	2,24	1,46	0,42	1,24			1,46
16.00	4,93	6,195	0,76	0,46	0,15	-1,93	-0,93											-1,93		-0,93
17.00	5,70	5,724	0,46	0,36	0,09	-2,70	-1,70											-2,70		-1,70
18.00	5,30	5,388	0,13	0,30	0,03	-2,30	-1,30											-2,30		-1,30
19.00	5,46	4,534	0,00	0,18	0,00	-2,46	-1,46											-2,46		-1,46
20.00	5,60	4,773	0,00	0,21	0,00	-2,60	-1,60											-2,60		-1,60
21.00	4,40	3,308	0,00	0,07	0,00	-1,40	-0,40											-1,40		-0,40
22.00	4,05	3,005	0,00	0,05	0,00	-1,05	-0,05											-1,05		-0,05
23.00	4,61	3,215	0,00	0,06	0,00	-1,61	-0,61											-1,61		-0,61
00.00	4,37	3,124	0,00	0,06	0,00	-1,37	-0,37											-1,37		-0,37

Kebutuhan turbin angin horizontal yang optimal dapat dilihat dari nilai probabilitas peluang yang didapat adalah 78,81%, apabila dilihat dari grafik kecepatan angin nilai probabilitas peluang tersebut kecepatan angin lebih dari 3,73 m/s.

$$A = \pi \times R^2 = \pi \times 3^2 = 28,27 \text{ m}^2$$

$$P_{\text{wind}} = \frac{1}{2} (\rho \cdot V_{\text{wind}}^3 \cdot A) = \frac{1}{2} (1,225 \times 3,73^3 \times 28,27) = 0,90 \text{ kW}$$

Kebutuhan panel surya yang optimal dapat dilihat dari nilai probabilitas peluang yang didapat adalah 92,79%, dilihat dari grafik insolasi matahari nilai probabilitas peluang tersebut insolasi matahari lebih dari 0,397 kW/m².

$$P_{\text{outmodul}} = A_{\text{modul}} \times S \times \eta = 1,636 \text{ m}^2 \times 0,397 \text{ kW/m}^2 \times 0,2 = 0,13 \text{ kW}$$

Desain pembangkit listrik tenaga angin dan surya memiliki dua desain antara lain :

a. Desain pertama

Desain pertama pembangkit listrik tenaga angin dan surya menggunakan satu unit turbin angin horizontal berkapasitas 3 kW. Pemilihan kuantitas panel surya ditentukan dari tidak adanya delta maka kuantitas yang dipilih adalah 14 unit panel surya.

Perhitungan baterai :

Perhitungan baterai diperlihatkan oleh Tabel 6.

$$L_1 = 0,19 \text{ kWh dengan } 0,05 \text{ kWh}$$

$$\text{Luas persegi panjang} = 0,19 \text{ kWh} \times 1 = 0,19 \text{ kWh}$$

$$\text{Menentukan alas segitiga} = 0,19 - 0,05 = 0,14 \text{ kWh}$$

$$\begin{aligned} \text{Luas segitiga} &= \frac{1}{2} (0,14 \times 1) = 0,07 \text{ kWh} \\ \text{Total Luas} &= 0,19 + 0,07 = 0,26 \text{ kWh} \end{aligned}$$

Tabel 6. Perhitungan Baterai Desain Pertama

Selisih antara P beban dengan P turbin angin = 3 kW dan P panel surya = 3 kW (kWh)	Luas Persegi Panjang (kWh)	Luas Segitiga (kWh)	Total Luas Daerah (Luas Persegi panjang + Luas segitiga) (kWh)
0,19 dan 0,05	0,19	0,07	0,26
1,93 dan 2,7	1,93	0,385	2,315
2,7 dan 2,3	2,3	0,2	2,5
2,3 dan 2,46	2,3	0,08	2,38
2,46 dan 2,6	2,46	0,07	2,53
2,6 dan 1,4	1,4	0,6	1
1,4 dan 1,05	1,05	0,175	1,225
1,05 dan 1,61	1,05	0,28	0,133
1,61 dan 1,37	1,37	0,12	1,49

Total luas daerah adalah $0,26 + 2,315 + 2,5 + 2,38 + 2,53 + 2 + 1,225 + 1,33 + 1,49 = 16,03 \text{ kWh}$

Jika menggunakan baterai berkapasitas 100 Ah 12 V, maka jumlah baterai yang dibutuhkan adalah:

$$\Sigma \text{baterai} = \frac{\text{Total Luas daerah}}{\text{Kapasitas baterai per unit}} = \frac{16,03 \text{ kWh}}{1200 \text{ Wh}} = 13,35 \approx 14 \text{ unit baterai}$$

Apabila *autonomy day* yang digunakan 2 hari maka $14 \text{ unit baterai} \times 2 \text{ hari} = 28 \text{ unit baterai}$.

Perhitungan inverter :

$$P_{out} = 6 \text{ kW} \times 1,2 = 7,2 \text{ kW}$$

$$I_{inv} = \frac{P_{out}}{V_{in}} = \frac{7200}{24} = 300 \text{ A}$$

Batas minimal arus masukkan inverter didapat sebesar 300 A, maka kuantitas inverter yang dibutuhkan 1 unit dengan kapasitas 8 kW (terdapat di pasaran).

b. Desain kedua

Desain kedua pembangkit listrik tenaga angin dan surya menggunakan satu unit turbin angin horizontal berkapasitas 4 kW. Pemilihan kuantitas panel surya ditentukan dari tidak adanya delta maka kuantitas yang dipilih adalah 6 unit panel surya.

Perhitungan baterai :

Perhitungan baterai diperlihatkan oleh Tabel 7.

$$\begin{aligned} L_1 &= 0,93 \text{ kWh dengan } 1,7 \text{ kWh} \\ \text{Luas persegi panjang} &= 0,93 \text{ kWh} \times 1 = 0,93 \text{ kWh} \\ \text{Menentukan alas segitiga} &= 1,7 - 0,93 = 0,77 \text{ kWh} \\ \text{Luas segitiga} &= \frac{1}{2} (0,77 \times 1) = 0,385 \text{ kWh} \end{aligned}$$

$$\text{Total Luas} = 0,93 + 0,385 = 1,315 \text{ kWh}$$

Tabel 7. Perhitungan Baterai Desain Kedua

Selisih antara P beban dengan P turbin angin = 4 kW dan P panel surya = 2 kW (kWh)	Luas Persegi Panjang (kWh)	Luas Segitiga (kWh)	Total Luas Daerah (Luas Persegi panjang + Luas segitiga) (kWh)
0,93 dan 1,7	0,93	0,385	1,315
1,7 dan 1,3	1,3	0,2	1,5
1,3 dan 1,46	1,3	0,08	1,38
1,46 dan 1,6	1,46	0,07	1,53
1,6 dan 0,4	0,4	0,6	1
0,4 dan 0,05	0,05	0,175	0,225
0,05 dan 0,61	0,05	0,28	0,33
0,61 dan 0,37	0,37	0,12	0,49

Total luas daerah adalah $1,315 + 1,5 + 1,38 + 1,53 + 1 + 0,225 + 0,33 + 0,49 = 7,77 \text{ kWh}$

Jika menggunakan baterai berkapasitas 100 Ah 12 V, maka jumlah baterai yang dibutuhkan adalah :

$$\Sigma \text{baterai} = \frac{\text{Total Luas daerah}}{\text{Kapasitas baterai per unit}} = \frac{7,77 \text{ kWh}}{1200 \text{ Wh}} = 6,475 \approx 7 \text{ unit baterai}$$

Apabila *autonomy day* yang digunakan 2 hari maka 7 unit baterai x 2 hari = 14 unit baterai.

Perhitungan inverter :

$$P_{out} = 6 \text{ kW} \times 1,2 = 7,2 \text{ kW}$$

$$I_{inv} = \frac{P_{out}}{V_{in}} = \frac{7200}{24} = 300 \text{ A}$$

Batas minimal arus masukkan inverter didapat sebesar 300 A. maka kuantitas inverter yang dibutuhkan 1 unit dengan kapasitas 8 kW (terdapat di pasaran).

3.4 Analisis Ekonomi

Analisa ekonomi dilakukan untuk desain pertama dan kedua agar mengetahui total keseluruhan nilai investasi (**Newnan, 1990**).

a. Desain pertama

Rincian investasi desain pertama diperlihatkan oleh Tabel 8.

Tabel 8. Rincian Investasi Desain Pertama

PLTAngin				
No	Nama Peralatan	Jumlah	Harga Satuan	Total
1	Turbin Angin 3 kW	1	Rp 15.275.000	Rp 15.275.000
2	Generator 1000 rpm 750 W	1	Rp 3.040.000	Rp 3.040.000
3	Tower, pondasi, kontroller	1	Rp 10.000.000	Rp 10.000.000
instalasi			Rp 10.000.000	Rp 10.000.000
Total investasi PLTAngin				Rp 38.315.000

PLTSurya				
No	Nama Peralatan	Jumlah	Harga Satuan	Total
1	Panel Surya 250 Wp	14	Rp 3.625.000	Rp 50.750.000
2	Baterai 12 V 100 Ah	28	Rp 2.035.000	Rp 56.980.000
3	Solar Charge Controller	1	Rp 5.513.000	Rp 5.513.000
4	Inverter Off Grid 8 kW	1	RP 5.523.000	Rp 5.523.000
instalasi			Rp 10.000.000	Rp 10.000.000
Total investasi PLTSurya				Rp 128.766.000

Total investasi PLTAngin	Rp 38.315.000
Total investasi PLTSurya	Rp 128.766.000
Total Keseluruhan Investasi PLTAngin dan PLTSurya	Rp 167.081.000

Maka didapat total keseluruhan investasi desain pertama yang terdiri dari satu unit turbin angin horizontal berkapasitas 3 kW, 14 unit panel surya dan 28 unit baterai adalah Rp 167.081.000. Nilai investasi tersebut cukup mahal dan tidak efisien karena pencapaian balik modal akan sangat lama yaitu lebih dari dua puluh tahun.

b. Desain kedua

Rincian investasi desain kedua diperlihatkan oleh Tabel 9.

Tabel 9. Rincian Investasi Desain Kedua

PLTAngin				
No	Nama Peralatan	Jumlah	Harga Satuan	Total
1	Turbin Angin 4 kW	1	Rp 25.275.000	Rp 25.275.000
2	Generator 1000 rpm 750 W	1	Rp 3.040.000	Rp 3.040.000
3	Tower, pondasi, kontroller	1	Rp 10.000.000	Rp 10.000.000
instalasi			Rp 10.000.000	Rp 10.000.000
Total investasi PLTAngin				Rp 48.315.000

PLTSurya				
No	Nama Peralatan	Jumlah	Harga Satuan	Total
1	Panel Surya 250 Wp	6	Rp 3.625.000	Rp 21.750.000
2	Baterai 12 V 100 Ah	14	Rp 2.035.000	Rp 28.490.000
3	Solar Charge Controller	1	Rp 5.513.000	Rp 5.513.000
4	Inverter Off Grid 8 kW	1	Rp 5.523.000	Rp 5.523.000
instalasi			Rp 10.000.000	Rp 10.000.000
Total investasi PLTSurya				Rp 71.276.000

Total investasi PLTAngin	Rp 48.315.000
Total investasi PLTSurya	Rp 71.276.000
Total Keseluruhan Investasi PLTAngin dan PLTSurya	Rp 119.591.000

Maka didapat total keseluruhan investasi desain pertama yang terdiri dari satu unit turbin angin horizontal berkapasitas 4 kW, 6 unit panel surya dan 14 unit baterai adalah Rp

Studi Kapasitas Daya Pembangkit Listrik Tenaga Hibrida Angin dan Surya Berkapasitas 6 kW berdasarkan skenario cuaca

119.591.000. Nilai investasi tersebut tidak terlalu mahal dan efisien karena pencapaian balik modal tidak akan begitu lama yaitu lebih dari sepuluh tahun.

3.5 Skenario Cuaca

Desain pembangkit listrik tenaga angin dan surya yang digunakan untuk melakukan skenario cuaca adalah desain pertama dan kedua dikarenakan memiliki komposisi yang optimum dan dari segi analisis ekonomi pun lebih layak daripada desain lainnya.

- a. Saat radiasi matahari 0,439 kW/m² dengan probabilitas 78,23%. Hasil perhitungan skenario pertama diperlihatkan oleh Tabel 10.

Tabel 10. Skenario Pertama

Jam	Beban (kW)	Potensi		Daya (kW)		Delta (kW)		probabilitas 78,23% adalah radiasi matahari 0,439 kW/m ²			1 unit Wind Turbin (3kW)			1 unit Wind Turbin (4kW)			Baterai			
		Kec Angin (m/s)	Global Solar (kW/m ²)	Turbin Angin	Panel Surya	1 unit (3kW)	1 unit (4 kW)	20 unit PV	14 unit PV	6 unit PV	20 unit PV	14 unit PV	6 unit PV	20 unit PV	14 unit PV	6 unit PV	1 unit WT (3 kW) dan 14 PV		1 unit WT (4 kW) dan 6 PV	
																	WT (+)	PV (-)	WT (+)	PV (-)
01.00	1,99	5,719	0,00	0,36	0,00	1,01	2,01										1,01		2,01	
02.00	2,46	5,027	0,00	0,24	0,00	0,54	1,54										0,54		1,54	
03.00	2,22	3,522	0,00	0,08	0,00	0,78	1,78										0,78		1,78	
04.00	2,69	3,995	0,00	0,12	0,00	0,31	1,31										0,31		1,31	
05.00	2,59	4,049	0,00	0,13	0,00	0,41	1,41										0,41		1,41	
06.00	2,32	4,654	0,05	0,19	0,01	0,68	1,68										0,68		1,68	
07.00	3,19	3,571	0,35	0,09	0,07	-0,19	0,81											-0,19	0,81	
08.00	3,05	4,104	0,67	0,13	0,13	-0,05	0,95											-0,05	0,95	
09.00	3,46	4,514	0,94	0,18	0,18	-0,46	0,54	2,87	2,01	0,86	2,41	1,55	0,40	3,41	2,55	1,40	2,41		2,55	
10.00	3,28	4,323	1,16	0,16	0,23	-0,28	0,72	2,87	2,01	0,86	2,60	1,73	0,58	3,60	2,73	1,58	2,60		2,73	
11.00	4,35	5,846	1,30	0,38	0,25	-1,35	-0,35	2,87	2,01	0,86	1,52	0,66	-0,49	2,52	1,66	0,51	1,52		1,66	
12.00	4,38	5,334	1,36	0,29	0,27	-1,38	-0,38	2,87	2,01	0,86	1,49	0,63	-0,52	2,49	1,63	0,48	1,49		1,63	
13.00	4,76	6,027	1,33	0,42	0,26	-1,76	-0,76	2,87	2,01	0,86	1,11	0,25	-0,90	2,11	1,25	0,10	1,11		1,25	
14.00	4,23	7,112	1,21	0,69	0,24	-1,23	-0,23	2,87	2,01	0,86	1,64	0,78	-0,37	2,64	1,78	0,63	1,64		1,78	
15.00	4,36	6,359	1,02	0,49	0,20	-1,36	-0,36	2,87	2,01	0,86	1,52	0,66	-0,49	2,52	1,66	0,51	1,52		1,66	
16.00	4,93	6,195	0,76	0,46	0,15	-1,93	-0,93											-1,93	-0,93	
17.00	5,70	5,724	0,46	0,36	0,09	-2,70	-1,70											-2,70	-1,70	
18.00	5,30	5,388	0,13	0,30	0,03	-2,30	-1,30											-2,30	-1,30	
19.00	5,46	4,534	0,00	0,18	0,00	-2,46	-1,46											-2,46	-1,46	
20.00	5,60	4,773	0,00	0,21	0,00	-2,60	-1,60											-2,60	-1,60	
21.00	4,40	3,308	0,00	0,07	0,00	-1,40	-0,40											-1,40	-0,40	
22.00	4,05	3,005	0,00	0,05	0,00	-1,05	-0,05											-1,05	-0,05	
23.00	4,61	3,215	0,00	0,06	0,00	-1,61	-0,61											-1,61	-0,61	
00.00	4,37	3,124	0,00	0,06	0,00	-1,37	-0,37											-1,37	-0,37	

Tabel 11. Skenario Kedua

Jam	Beban (kW)	Potensi		Daya (kW)		Delta (kW)		Saat panel surya tidak dapat menghasilkan daya dikarenakan tidak adanya sinar matahari			1 unit Wind Turbin (3kW)			1 unit Wind Turbin (4kW)			Baterai			
		Kec Angin (m/s)	Global Solar (kW/m ²)	Turbin Angin	Panel Surya	1 unit (3kW)	1 unit (4 kW)	20 unit PV	14 unit PV	6 unit PV	20 unit PV	14 unit PV	6 unit PV	20 unit PV	14 unit PV	6 unit PV	1 unit WT (3 kW) dan 14 PV		1 unit WT (4 kW) dan 6 PV	
																	WT (+)	PV (-)	WT (+)	PV (-)
01.00	1,99	5,719	0,00	0,36	0,00	1,01	2,01										1,01		2,01	
02.00	2,46	5,027	0,00	0,24	0,00	0,54	1,54										0,54		1,54	
03.00	2,22	3,522	0,00	0,08	0,00	0,78	1,78										0,78		1,78	
04.00	2,69	3,995	0,00	0,12	0,00	0,31	1,31										0,31		1,31	
05.00	2,59	4,049	0,00	0,13	0,00	0,41	1,41										0,41		1,41	
06.00	2,32	4,654	0,05	0,19	0,01	0,68	1,68										0,68		1,68	
07.00	3,19	3,571	0,35	0,09	0,07	-0,19	0,81											-0,19	0,81	
08.00	3,05	4,104	0,67	0,13	0,13	-0,05	0,95											-0,05	0,95	
09.00	3,46	4,514	0,94	0,18	0,18	-0,46	0,54	0,00	0,00	0,00	-0,46	-0,46	-0,46	0,54	0,54	0,54	-0,46	0,54		
10.00	3,28	4,323	1,16	0,16	0,23	-0,28	0,72	0,00	0,00	0,00	-0,28	-0,28	-0,28	0,72	0,72	0,72	-0,28	0,72		
11.00	4,35	5,846	1,30	0,38	0,25	-1,35	-0,35	0,00	0,00	0,00	-1,35	-1,35	-1,35	-0,35	-0,35	-0,35	-1,35	-0,35		
12.00	4,38	5,334	1,36	0,29	0,27	-1,38	-0,38	0,00	0,00	0,00	-1,38	-1,38	-1,38	-0,38	-0,38	-0,38	-1,38	-0,38		
13.00	4,76	6,027	1,33	0,42	0,26	-1,76	-0,76	0,00	0,00	0,00	-1,76	-1,76	-1,76	-0,76	-0,76	-0,76	-1,76	-0,76		
14.00	4,23	7,112	1,21	0,69	0,24	-1,23	-0,23	0,00	0,00	0,00	-1,23	-1,23	-1,23	-0,23	-0,23	-0,23	-1,23	-0,23		
15.00	4,36	6,359	1,02	0,49	0,20	-1,36	-0,36	0,00	0,00	0,00	-1,36	-1,36	-1,36	-0,36	-0,36	-0,36	-1,36	-0,36		
16.00	4,93	6,195	0,76	0,46	0,15	-1,93	-0,93											-1,93	-0,93	
17.00	5,70	5,724	0,46	0,36	0,09	-2,70	-1,70											-2,70	-1,70	
18.00	5,30	5,388	0,13	0,30	0,03	-2,30	-1,30											-2,30	-1,30	
19.00	5,46	4,534	0,00	0,18	0,00	-2,46	-1,46											-2,46	-1,46	
20.00	5,60	4,773	0,00	0,21	0,00	-2,60	-1,60											-2,60	-1,60	
21.00	4,40	3,308	0,00	0,07	0,00	-1,40	-0,40											-1,40	-0,40	
22.00	4,05	3,005	0,00	0,05	0,00	-1,05	-0,05											-1,05	-0,05	
23.00	4,61	3,215	0,00	0,06	0,00	-1,61	-0,61											-1,61	-0,61	
00.00	4,37	3,124	0,00	0,06	0,00	-1,37	-0,37											-1,37	-0,37	

- b. Saat panel surya tidak dapat menghasilkan daya dikarenakan tidak adanya sinar matahari. Hasil perhitungan skenario kedua diperlihatkan oleh Tabel 11.

Perhitungan baterai desain pertama pada skenario kedua diperlihatkan oleh Tabel 12.

$$\begin{aligned}
 L_1 &= 0,19 \text{ kWh dengan } 0,05 \text{ kWh} \\
 \text{Luas persegi panjang} &= 0,19 \text{ kWh} \times 1 = 0,19 \text{ kWh} \\
 \text{Menentukan alas segitiga} &= 0,19 - 0,05 = 0,14 \text{ kWh} \\
 \text{Luas segitiga} &= \frac{1}{2} (0,14 \times 1) = 0,07 \text{ kWh} \\
 \text{Total Luas} &= 0,19 + 0,07 = 0,26 \text{ kWh}
 \end{aligned}$$

Tabel 12. Perhitungan baterai

Selisih antara P beban dengan P turbin angin = 3 kW dan P panel surya = 0 kW (kWh)	Luas Persegi Panjang (kWh)	Luas Segitiga (kWh)	Total Luas Daerah (Luas Persegi panjang + Luas segitiga) (kWh)
0,19 dan 0,05	0,19	0,07	0,26
0,05 dan 0,46	0,05	0,205	0,255
0,46 dan 0,28	0,28	0,09	0,37
0,28 dan 1,35	0,28	0,535	0,815
1,35 dan 1,38	1,35	0,015	1,365
1,38 dan 1,76	1,38	0,19	1,57
1,76 dan 1,23	1,23	0,265	1,495
1,23 dan 1,36	1,23	0,065	1,295
1,36 dan 1,93	1,36	0,285	1,645
1,93 dan 2,7	1,93	0,385	2,315
2,7 dan 2,3	2,3	0,2	2,5
2,3 dan 2,46	2,3	0,08	2,38
2,46 dan 2,6	2,46	0,07	2,53
2,6 dan 1,4	1,4	0,6	2
1,4 dan 1,05	1,05	0,175	1,225
1,05 dan 1,61	1,05	0,28	0,133
1,61 dan 1,37	1,37	0,12	1,49

Total luas daerah adalah $0,26 + 0,255 + 0,37 + 0,815 + 1,365 + 1,57 + 1,495 + 1,295 + 1,645 + 2,315 + 2,5 + 2,38 + 2,53 + 2 + 1,225 + 1,33 + 1,49 = 24,84 \text{ kWh}$

Jika menggunakan baterai berkapasitas 100 Ah 12 V, maka jumlah baterai yang dibutuhkan adalah :

$$\Sigma \text{baterai} = \frac{\text{Total Luas daerah}}{\text{Kapabilitas baterai per unit}} = \frac{24,84 \text{ kWh}}{1200 \text{ Wh}} = 20,7 \approx 21 \text{ unit baterai}$$

Perhitungan baterai desain kedua pada skenario kedua diperlihatkan oleh Tabel 13.

$$\begin{aligned}
 L_1 &= 0,35 \text{ kWh dengan } 0,38 \text{ kWh} \\
 \text{Luas persegi panjang} &= 0,35 \text{ kWh} \times 1 = 0,35 \text{ kWh} \\
 \text{Menentukan alas segitiga} &= 0,38 - 0,35 = 0,03 \text{ kWh} \\
 \text{Luas segitiga} &= \frac{1}{2} (0,03 \times 1) = 0,015 \text{ kWh} \\
 \text{Total Luas} &= 0,35 + 0,015 = 0,365 \text{ kWh}
 \end{aligned}$$

Tabel 13. Perhitungan baterai

Selisih antara P beban dengan P turbin angin = 4 kW dan P panel surya = 0 kW (kWh)	Luas Persegi Panjang (kWh)	Luas Segitiga (kWh)	Total Luas Daerah (Luas Persegi panjang + Luas segitiga) (kWh)
0,35 dan 0,38	0,35	0,015	0,365
0,38 dan 0,76	0,38	0,19	0,57
0,76 dan 0,23	0,23	0,265	0,495
0,23 dan 0,36	0,23	0,065	0,295
0,36 dan 0,93	0,36	0,285	0,645
0,93 dan 1,7	0,93	0,385	1,315
1,7 dan 1,3	1,3	0,2	1,5
1,3 dan 1,46	1,3	0,08	1,38
1,46 dan 1,6	1,46	0,07	1,53
1,6 dan 0,4	0,4	0,6	1
0,4 dan 0,05	0,05	0,175	0,225
0,05 dan 0,61	0,05	0,28	0,33
0,61 dan 0,37	0,37	0,12	0,49

Total luas daerah adalah $0,365 + 0,57 + 0,495 + 0,295 + 0,645 + 1,315 + 1,5 + 1,38 + 1,53 + 1 + 0,225 + 0,33 + 0,49 = 10,14$ kWh

Jika menggunakan baterai berkapasitas 100 Ah 12 V, maka jumlah baterai yang dibutuhkan adalah :

$$\Sigma \text{baterai} = \frac{\text{Total Luas daerah}}{\text{Kapasitas baterai per unit}} = \frac{10,14 \text{ kWh}}{1200 \text{ Wh}} = 8,45 \approx 9 \text{ unit baterai}$$

Kedua desain pembangkit listrik hibrida angin dan surya dapat digunakan untuk kedua skenario cuaca tersebut, maka dalam pemilihan desain dapat dilihat dari sisi nilai investasi dan keandalan.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian dan analisis tentang studi kapasitas daya pembangkit listrik tenaga hibrida angin surya yang dilakukan, dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

- Untuk menentukan potensi peluang terjadinya kecepatan angin dan radiasi matahari dilakukan probabilitas distribusi normal. Dari hasil perhitungan probabilitas distribusi normal peluang terjadinya kecepatan angin 3,73 m/s adalah berpeluang sebesar 78,81% sedangkan peluang terjadinya radiasi matahari 0,397 kW/m² berpeluang sebesar 92,79%.
- Desain Pembangkit Listrik Tenaga Hibrida Angin Surya untuk menyuplai beban sebesar 6 kW, dari dua desain maka yang terpilih adalah Pembangkit Listrik Tenaga Angin 4 kW dengan kuantitas turbin angin horizontal satu unit, Pembangkit Listrik Tenaga Surya 2 kW dengan kuantitas panel surya 6 unit dan total kebutuhan baterai sebanyak 14 baterai, karena memiliki nilai investasi lebih kecil yaitu Rp 119.591.000.
- Saat melakukan pengaturan suplai beban, besar kecilnya selisih daya yang disuplai oleh turbin angin ataupun panel surya akan mempengaruhi kuantitas baterai karena untuk memenuhi kebutuhan beban.
- Skenario cuaca dilakukan untuk menguji desain pembangkit listrik tenaga angin dan surya yang terpilih guna untuk mengetahui kehandalan.

DAFTAR RUJUKAN

- Andhika Prastawa, Dr. Dkk (2015). *Peta Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) di Indonesia dan Hasil Kajian Awal PLTB di 10 Lokasi*. Tangerang Selatan: WHyPGen-BPPT.
- BPS Kab Garut. (2015). *Garut dalam Angka 2015*. Kabupaten Garut: Badan Pusat Statistik.
- Handayani, Dinda Tri. (2012). *Mendayagunakan Atmosfer Sebagai Alternatif Energi Terbarukan*. Bandung: Institut Teknologi Bandung.
- Hessami, Dr M. (2010). *Designing a Hybrid Wind and Solar Energy Supply System for a Rural Residential Building*. International Journal of Low-Carbon Technologies. 112-126.
- Inayah. (2015). *Dasar-Dasar Perancangan Bilah*. Ciheras Tasikmalaya: Lentera Angin Nusantara.
- Khatib, T. (2013). *Optimization of a Grid-Connected Renewable Energy System for a Case Study in Nablus Palestine*. International Journal of Low-Carbon Technologies 2014. 9:311-318.
- Newnan, Donald G (1990). *Engineering Economic Analysis*. Jakarta Barat: Binarupa Aksara.
- Ismail, Abdul Aziz Maarief. (2017) *Perencanaan Pembangkit Listrik Hibrida PLTS-Generator BBM dengan Kapasitas 3000 VA*. Bandung: Institut Teknologi Nasional Bandung.
- Syahrial, Sawitri, K., dan Gemahapsari, P. (2017). *Studi Keandalan Ketersediaan Daya Pembangkit Listrik pada Jaringan Daerah X*. Jurnal Elkomika. 1(5): 93-105.
- Utami, S. (2016). *Optimal Design of Renewable Energy System using Genetic Case Study in Parangtritis*. Jurnal Elkomika. 2(4): 148-159.