

PERANCANGAN SISTEM HYBRID PLTS DAN PLTB OFF GRID PADA SKALA RUMAH TINGGAL DI DAERAH PERBUKITAN

Andrian Ekaputra Lewi¹, Kartiko Ardi Widodo², Bima Romadhon Parada Dian Palevi³

Teknik Elektro, Institut Teknologi Nasional Malang, Malang, Indonesia

andrianlewi@gmail.com, tiko_ta@lecturer.itn.ac.id, bimarppdp@lecturer.itn.ac.id

Abstrak— Pembangkit Listrik dengan sistem Hybrid dari kombinasi 2 pembangkit listrik energi alternative dengan memanfaatkan energi angin (PLTB) dan energi matahari (PLTS) adalah merupakan sebuah alternative penyedia kelistrikan di daerah perbukitan atau lereng gunung. Kedua tipe pembangkit tersebut merupakan pembangkit energy terbarukan mengingat proses alami keduanya yang kemungkinan energinya tidak akan pernah habis.

Sebagai uji coba dari perancangan ini dilakukan di daerah perbukitan lereng gunung Panderman. Sistem Hybrid ini berbentuk off-grid dengan beban menyesuaikan penggunaan perumahan penduduk di sekitar lokasi uji coba. Implementasi teknologi ini bertujuan untuk menambah ilmu dan mentransfer teknologi kepada masyarakat, khususnya yang tinggal di daerah perbukitan. Pengaruh angin lembah yang bertiup pada jam-jam tertentu ternyata dapat menjadi alternative pengisian baterai saat PLTS tidak efektif. Kombinasi PLTB dan PLTS menghasilkan daya listrik yang cukup untuk penerangan dan mendukung aktivitas masyarakat di daerah Perbukitan. Kata kunci: PLTB, PLTS, Sistem Hybrid, Daerah Perbukitan.

Kata Kunci : Daerah Perbukitan ,PLTB, PLTS, Sistem Hybrid, Sistem Off-Grid

I. PENDAHULUAN

Energi listrik sudah menjadi energi yang sangat mendasari kehidupan manusia , hampir setiap aktivitas manusia modern sudah menggunakan listrik sebagai pembantu bahkan sebagai penopang utama aktivitasnya[1]. Menurut data Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM), penggunaan energi terbesar hingga tahun 2015 didominasi oleh sumber fosil, dimana minyak menjadi yang terbesar dengan persentase 47% (550 juta barel), batu bara dan gas alam masing-masing sebesar 24%, sedangkan 5% sisanya adalah Energi Baru Terbarukan (EBT). Indonesia memiliki sumber daya EBT yang besar, dengan potensi energi angin sebesar 950 MW, matahari 11 GW, air 75 GW, biomasa 32 MW, biofuel 32 MW, arus laut sebesar 60 GW, dan geothermal sebesar 29 GW (EBTKE dan

Ketenagalistrikan, 2016)[2].cukup beragam, dari sumber penerangan hingga memenuhi kebutuhan aktivitas rumah tangga.namun ada juga wilayah-wilayah atau daerah yang masih belum teraliri listrik hingga saat ini, tetapi proses penyaluran tenaga listrik PLN tersebut juga tidak bisa dilakukan dengan cepat, maka dari itu untuk daerah yang belum di jangkau PLN penerapan teknologi pembangkit listrik ramah lingkungan yang sering disebut dengan sebutan EBT (Energi Baru Terbarukan) menjadi solusi yang sedang digencarkan. Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid merupakan pembangkit listrik yang menggabungkan pembangkit energi yang berbeda. Seperti Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) dengan Pembangkit Listrik Tenaga Bayu/Angin (PLTB). Fungsinya yaitu apabila langit mendung dan matahari lenyap pada siang hari, maka pembangkit listrik akan digerakkan oleh turbin angin dan sebaliknya ketika angin berhembus pelan dan matahari lagi terik maka pembangkit listrik akan dijalankan oleh panel surya.

Energi dari surya cocok dengan iklim yang tropis membuat paparan sinar matahari berlimpah terus menerus. Hal ini sangat menunjang daerah-daerah terpencil yang kesulitan dijangkau oleh sistem listrik konvensional sehingga daerah yang terpencil dapat memanfaatkan tenaga surya sebagai sumber listrik.sangat ramah lingkungan karena tidak menghasilkan efek rumah kaca, polusi udara, dan polusi air selama digunakan. Selain itu energi panel surya juga tidak memancarkan emisi karbon berbahaya. Energi angin juga energi yang relatif bersih dan ramah lingkungan karena tidak menghasilkan karbondioksida (CO₂) atau gas-gas lain. Energi ini pun tidak menimbulkan limbah yang berbahaya bagi lingkungan atau manusia. Meski demikian, harus tetap diingat bahwa seluruh bentuk energi selalu memiliki akibat bagi

lingkungan. Hanya saja, efek energi terbarukan ini sangat rendah, bersifat lokal dan mudah untuk dikelola.

Objek atau daerah yang akan memanfaatkan energi terbarukan ini terletak di daerah perbukitan ataupun lereng dengan skala rumah tinggal. Rancangan pembangkit ini memanfaatkan Photovoltaic (panel surya) atau yang dikenal dengan pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) dan dapat dihybrid dengan pembangkit listrik tenaga bayu/angin (PLTB) adalah salah satu solusi yang baik juga melihat daerah dan iklim sangat cocok untuk menerapkan teknologi tersebut, dengan adanya pembangkit listrik ramah lingkungan tersebut dapat membantu serta memenuhi pasokan kebutuhan listrik skala rumah tinggal karena sistem ini menggunakan Off-Grid jadi solusi terbaik untuk mengatasi kebutuhan listrik, khususnya di area yang masih sulit dijangkau oleh listrik PLN karena sistem ini bisa memenuhi kebutuhan energi listrik secara mandiri. Dengan konsekuensi penyediaan baterai penyimpan cadangan yang lebih besar dan juga genset sebagai antisipasi saat cuaca yang kurang mendukung.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Sistem Hybrid

Sistem tenaga hibrida, secara umumnya terdiri dari dua atau lebih sumber energi terbarukan yang digunakan bersama untuk menyediakan peningkatan efisiensi sistem serta keseimbangan yang lebih besar dalam pasokan energi[3]. Sistem Hybrid PLTS (Pembangkit Listrik Tenaga Surya) dan PLTB (Pembangkit Listrik Tenaga Bayu/Angin) adalah sebuah sistem pembangkit listrik yang mengombinasikan dua sumber energi terbarukan, yaitu energi matahari dan energi angin, dalam satu sistem terintegrasi.

Dalam sistem hybrid PLTS-PLTB, kedua teknologi ini diintegrasikan dan dioperasikan secara bersama-sama. PLTS akan menghasilkan listrik saat kondisi cerah dengan cahaya matahari, sedangkan PLTB akan menghasilkan listrik saat kondisi berangin. Kombinasi kedua sumber energi ini dapat meningkatkan keandalan pasokan listrik dan mengurangi ketergantungan pada satu sumber energi saja.

Sistem hybrid PLTS-PLTB sering digunakan dalam aplikasi off-grid, di mana sistem tidak terhubung dengan jaringan listrik utama. Hal ini membuatnya cocok untuk daerah terpencil atau daerah yang sulit dijangkau oleh jaringan listrik konvensional, seperti daerah perbukitan atau pedesaan.

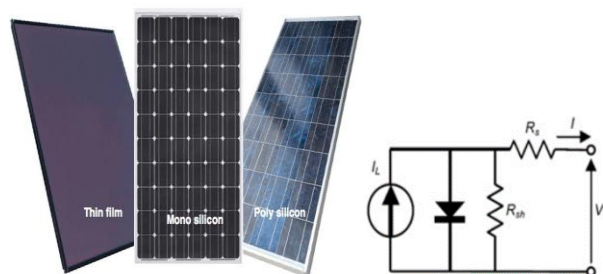
Keuntungan utama sistem hybrid PLTS-PLTB adalah pemanfaatan sumber energi terbarukan yang ramah lingkungan, keandalan pasokan listrik yang lebih tinggi, dan mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil. Namun, perancangan dan implementasi sistem hybrid ini memerlukan pertimbangan khusus seperti potensi sumber energi, profil beban, kapasitas penyimpanan energi, dan strategi pengendalian sistem

B. Sistem Off-Grid

Sistem off-grid merupakan sebuah sistem kelistrikan yang beroperasi atau bekerja secara mandiri, tanpa terhubung ke jaringan listrik utama atau PLN. Sistem ini biasanya digunakan di lokasi terpencil atau area yang tidak memiliki akses ke infrastruktur listrik konvensional yang sulit dijangkau oleh PLN atau dengan kata lain sistem off-grid, dimana sistem ini berdiri sendiri tanpa terkoneksi dengan sumber listrik lain untuk mensuplai kebutuhan beban [4] dengan mengandalkan energi matahari dan dikombinasikan dengan energi angin.

C. PLTS (Pembangkit Listrik Tenaga Surya)

Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) adalah pembangkit yang mengubah energi surya/matahari menjadi energi listrik sebagai salah satu sumber energi alternatif yang ramah lingkungan (energi terbarukan).[5] Solar Photovoltaic (PV) merupakan suatu alat yang dapat mengubah energi surya menjadi energi listrik. Sel PV merupakan komponen utama dari modul PV. Sel ini terbuat dari bahan semikonduktor yang menangkap sinar matahari dan mengubahnya menjadi listrik. Sel-sel yang saling terhubung secara seri untuk mendapatkan tegangan total yang lebih tinggi melalui kawat busbar. Bahan yang digunakan untuk sel fotovoltaik umumnya adalah silikon, seperti polycrystalline dan monocrystalline. Cara kerja dari sel surya ini adalah ketika foton cahaya masuk pada sel, maka foton memindahkan energi ke pembawa muatan. Medan listrik yang melintasi persimpangan memisahkan pembawa muatan positif (hole) yang dihasilkan cahaya dari pasangan negatifnya (elektron). Dengan cara ini, arus listrik diekstraksi setelah rangkaian ditutup pada beban eksternal[6]



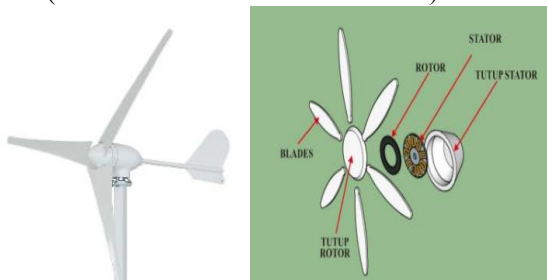
Gambar 1. PLTS

D. PLTB (Pembangkit Listrik Tenaga Bayu/Angin)

Pembangkit listrik tenaga bayu merupakan pembangkit energi listrik yang mengubah energi kinetik

angin menjadi energi mekanik oleh turbin dan diubah lagi menjadi energi listrik oleh generator dengan memanfaatkan kecepatan angin yang menggerakkan turbin. Angin adalah udara yang bergerak yang diakibatkan oleh rotasi bumi dan juga karena adanya perbedaan tekanan udara disekitarnya. Angin bergerak dari tempat bertekanan udara tinggi ke tempat bertekanan udara rendah. Pemanasan oleh matahari mengakibatkan udara akan memuai. Tekanan udara yang telah memuai massa jenisnya menjadi lebih ringan sehingga naik. Apabila hal tersebut terjadi, tekanan udara akan turun. Dengan bantuan energi angin ini proses pengubahan energi dilakukan melalui dua tahapan konversi energi, pertama aliran angin akan menggerakkan rotor (baling-baling) yang menyebabkan rotor berputar selaras dengan angin yang bertiup, kemudian putaran dari rotor dihubungkan dengan generator, dari generator inilah dihasilkan arus Listrik[7]

Cara kerja pembangkit tenaga angin yang dikenal sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) cukup sederhana. Proses pemanfaatan energi angin dilakukan melalui dua tahapan konversi energi, pertama aliran angin akan menggerakkan rotor (baling-baling) yang menyebabkan rotor berputar selaras dengan angin yang bertiup, kemudian putaran dari rotor dihubungkan dengan generator, dari generator inilah dihasilkan arus listrik. memiliki dua jenis yaitu bersumbu horizontal (Horizontal Axis Wind Turbine/HAWT) dan Sumbu vertikal (Vertical Axis Wind Turbine/VAWT)



Gambar 2. Turbin Angin PLTB

III. METODOLOGI PENELITIAN

Metodologi yang digunakan dalam pembuatan penelitian Perancangan Sistem Hybrid PLTS dan PLTB Off Grid Pada Skala Rumah Tinggal Di Daerah Perbukitan adalah :

1. Flowchart Sistem
2. Perancangan Pembuatan Alat
3. Pelaksanaan Penelitian

A. Flowchart Sistem

Dalam penelitian ini yaitu Flowchart Sistem Hybrid PLTS dan PLTB Off Grid Pada Skala Rumah

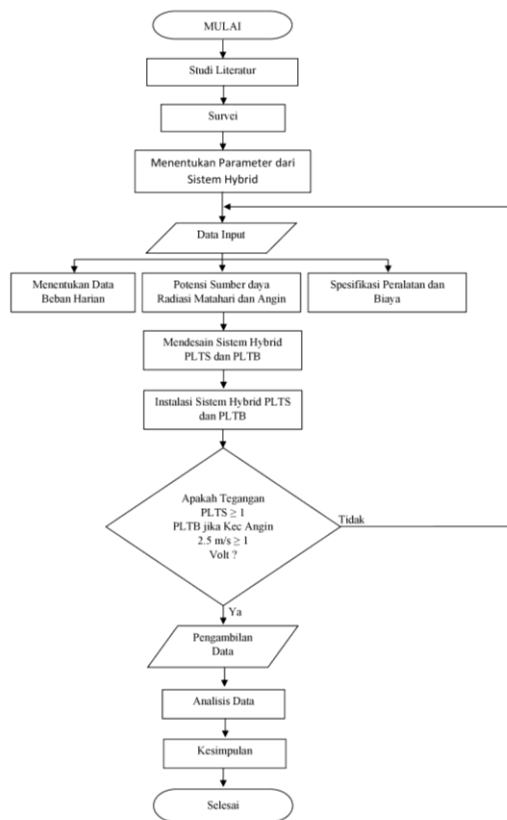
Tinggal Di Daerah Perbukitan yang akan dilakukan beserta penjelasan tiap langkahnya.

Untuk penjelasan alortitma flowchart sistem pada gambar 3 adalah sebagai berikut :

1. Mulai sistem
2. Mendapatkan informasi dan data pendukung yang diperlukan untuk merancang atau mengembangkan dan solusi yang akan diusulkan dalam penelitian.
3. Melakukan survei lokasi untuk perancangan PLTS dan PLTB, serta mengumpulkan data radiasi matahari, suhu, kelembapan, dan pola angin di lokasi tersebut, serta kondisi geografis.
4. Setelah studi literatur dan survei dilakukan, langkah selanjutnya adalah menentukan parameter-parameter yang diperlukan untuk merancang sistem hybrid yang mengombinasikan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) dan Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB)
5. Menginput sistem meliputi parameter dari literatur seperti spesifikasi teknis, model matematis, metode perancangan, serta data survei mencakup data kondisi geografis, dan ketersediaan sumber daya.
6. Menentukan Beban daya yang akan digunakan dalam sistem hybrid off-grid, dan potensi energi terbarukan yang akan digunakan untuk menentukan spesifikasi alat dan komponen yang akan digunakan.
7. Merancang sistem hybrid off-grid PLTS dan PLTB yang akan digunakan
8. Menginstalasi sistem hybrid off-grid PLTS dan PLTB
9. Apakah sistem mulai bekerja dan berhasil ?
 - 9.1 Tidak, Jika sistem tidak berhasil dilakukan maka memeriksa kembali input data yang dimasukkan, seperti parameter dari literatur atau data survei, untuk memastikan keakuratan dan kelengkapannya atau metode yang digunakan dalam proses perancangan atau optimasi sistem.
 - 9.2 Ya, sistem mulai bekerja dan berhasil, maka itu menandakan bahwa proses perancangan, simulasi, atau optimasi sistem hybrid PLTS dan PLTB telah berjalan dengan baik dan menghasilkan solusi yang diinginkan.
10. Setelah sistem hybrid off-grid PLTS dan PLTB dibangun dan beroperasi, perlu dilakukan pengambilan data untuk memantau kinerja sistem.
11. Hasil analisis data ini akan memberikan informasi yang berharga untuk merancang,

mengoptimalkan, dan mengoperasikan sistem hybrid off-grid PLTS dan PLTB secara efektif dan efisien.

12. Kesimpulannya algoritma flowchart ini memberikan panduan sistematis untuk merancang dan mengoptimalkan sistem hybrid off-grid PLTS dan PLTB dengan mempertimbangkan faktor-faktor penting seperti kondisi lingkungan, sumber daya, batasan, dan kriteria optimasi.
13. Selesai.



Gambar 3. Flowchart system

B. Perancangan Pembuatan Alat Beban Daya

Penghitungan estimasi ini dilakukan berdasarkan perkiraan lamanya penggunaan beban peralatan Listrik yang digunakan selama penelitian . menggunakan rumus berikut :

Tabel 1 . Daya Beban

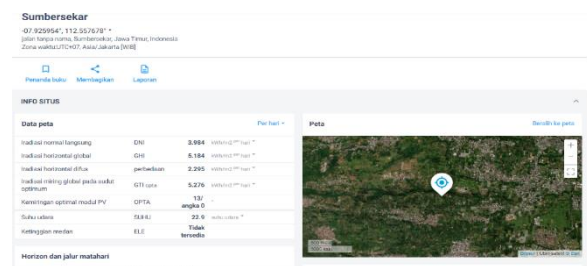
Beban	Daya (W)	Jumlah	Waktu (Jam)	Total Daya (Wh)
Lampu Teras	7	4	12	336
Pompa Air	40	2	3	240

Lampu Ruang	7	6	12	504
-------------	---	---	----	-----

$$\begin{aligned}
 \text{Wh} &= (\text{watt} \times \text{jumlah beban} \times \text{jam}) \dots \dots \dots (1) \\
 \text{Wh} &= (7 \times 4 \times 12) + (40 \times 2 \times 3) + (7 \times 6 \times 12) \\
 &= 336 + 240 + 504 = 1.080 \text{ Wh}
 \end{aligned}$$

Data di atas merupakan penggunaan daya beban yang dipakai selama proses penelitian dikarenakan penggunaan beban tersebut merupakan daya beban yang sering digunakan untuk proses bekerja dan untuk penerangan sore dan malam hari.

Penentuan Panel Surya



Gambar 4. PSH dan Irradiance pada Lokasi

Perhitungan untuk menentukan PSH (Peak Sun Hours) pada lokasi penelitian :

Selain itu kita harus mengetahui parameter Peak Sun Hour(PSH), yaitu parameter untuk menyatakan perbandingan lamanya penyinaran matahari maksimum (dalam jam) per hari terhadap standar intensitas radiasi matahari yang nilainya 1 kW/m2, satuan dari PSH adalah jam (hour). Istilah PSH mengacu pada radiasi matahari pada lokasi tertentu yang akan diterima jika matahari bersinar dengan nilai maksimum dalam jangka waktu tertentu, yang dinyatakan dengan jam.[8]menggunakan rumus :

$$\begin{aligned}
 PSH(h) &= \frac{\text{Energi Matahari}}{\text{Pada Permukaan dalam 1 hari (kWh/m}^2\text{)}} \dots \dots \dots (2) \\
 &= \frac{5.184 \text{ (kWh/m}^2\text{)}}{1 \text{ Sun (kWh/m}^2\text{)}}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 PSH(h) &= \frac{5.184 \text{ (kWh/m}^2\text{)}}{1 \text{ Sun (kWh/m}^2\text{)}} = 5.184 \text{ Hours} \\
 &= \text{Pembulatan 5 Jam}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Wp &= \frac{\text{Total beban pemakaian harian}}{\text{Insolasi Surya Harian}} \dots \dots \dots (3) \\
 &= 1.080 \text{ Wh} : 5 \text{ Jam} \\
 &= 216 \text{ wattpeak (Wp)}
 \end{aligned}$$

Jumlah panel 100 Wp = 216 W : 100 Wp = 2,16
Dibulatkan menjadi 4 panel surya 100 Wp.

Perhitungan Produksi Energi Listrik

Perhitungan untuk produksi energi dari panel surya dalam satu hari menggunakan rumus sebagai berikut :

$$E = P \times t \dots \dots \dots (4)$$

Dimana:

E = Energi yang dihasilkan (dalam watt-hours, Wh)

P = Daya puncak panel surya (dalam watt-peak, Wp)

t = Waktu efektif sinar matahari (dalam jam)

$$E = 400 \text{ Wp} \times 5 \text{ jam}$$

$$E = 2000 \text{ Wh} = 2 \text{ Wh}$$

Menentukan kontribusi PLTB (Pembangkit Listrik Tenaga Bayu) dalam sistem hybrid dengan data yang diberikan :

1. Data sebelumnya :
 - a. Panel surya: $100 \text{ Wp} \times 4 = 400 \text{ Wp}$ total
 - b. Beban harian: 1080 Wh
 - c. Jam efektif panel surya: 5 jam
 - d. PLTB: 1000 W
 - e. Jam efektif PLTB: 2 jam
2. Produksi energi dari panel surya :
Energi panel surya = $400 \text{ Wp} \times 5 \text{ jam} = 2000 \text{ Wh}$
3. Kelebihan/kekurangan energi dari panel surya:
Selisih = Energi panel surya - Beban harian
= $2000 \text{ Wh} - 1080 \text{ Wh}$
= 920 Wh
4. Produksi energi dari PLTB:
Energi PLTB = $1000 \text{ W} \times 2 \text{ jam}$
= 2000 Wh
5. Total energi yang dihasilkan sistem hybrid:
Total energi = Energi panel surya + Energi PLTB
= $2000 \text{ Wh} + 2000 \text{ Wh}$
= 4000 Wh
6. Energi total:
Total Hybrid = Total energi - Beban harian
= $4000 \text{ Wh} - 1080 \text{ Wh}$
= 2920 Wh

Alat dan Bahan

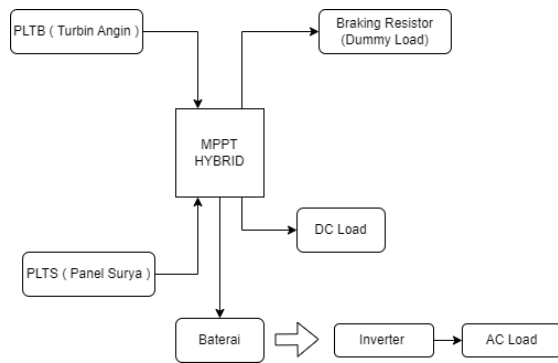
Dalam penelitian ini akan digunakan berbagai jenis bahan dan juga beberapa komponen pendukung, serta alat pendukung untuk proses penyelesaian dalam pembuatan mulai dari perancangan sampai finishing. Adapun alat dan bahan yang akan digunakan tersebut adalah sebagai berikut:

TABEL 2. ALAT DAN BAHAN SISTEM

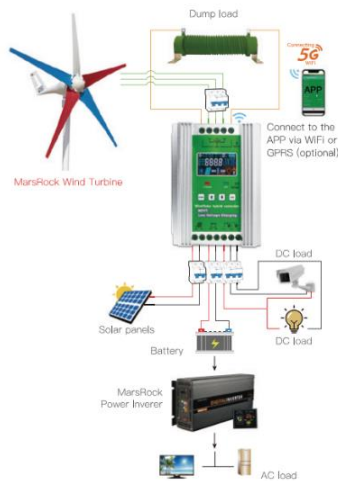
Nama Perangkat	Jenis	Jumlah
Panel Surya 100 Wp	Poly-Crystalline	4
Turbin Angin (PLTB)	Horizontal 1000 W	1
Maximum Power Point Tracking (MPPT)	MPPT (MARSROCK)	1
Inverter	1 x 1200 Watt	1
Baterai	65 Ah 12V	2
Breaking Resistor	1000 W / 5 Ohm	1
Sensor Tegangan	DC	1

Prinsip kerja dari Perancangan Sistem Hybrid PLTS dan PLTB Off Grid Pada Skala Rumah Tinggal Di Daerah Perbukitan:

1. Sumber energi: Memanfaatkan energi matahari dan angin yang tersedia di lokasi. Dengan komponen utama yaitu:
 - o Panel surya
 - o Turbin angin
 - o Baterai penyimpanan
 - o Inverter
 - o MPPT
2. Pengumpulan energi:
 - o Panel surya mengubah cahaya matahari menjadi Listrik saat pagi sampai siang hari
 - o Turbin angin mengonversi energi angin menjadi Listrik saat sore hari
3. Penyimpanan energi listrik disimpan dalam baterai untuk digunakan saat beban sedang berjalan.
4. Konversi inverter yang mengubah arus DC dari baterai menjadi AC untuk penggunaan rumah tangga.
5. MPPT yang fungsinya kontroler pengisian mengatur aliran listrik dari sumber ke baterai dan beban juga memiliki fungsi mengatur braking resistor.
6. Listrik disalurkan ke peralatan rumah tangga sesuai kebutuhan beban
7. Sistem ini dirancang untuk memaksimalkan efisiensi dan keandalan pasokan Listrik .saat siang hari digunakan untuk bekerja dan malam hari di gunakan untuk penerangan.



Gambar 5. Diagram Alir Sistem



Gambar 6. Rangkaian Sistem

C. Pelaksanaan Penelitian

Penelitian dan perakitan alat dilaksanakan di Dusun Precet, Sumbersekar, Kec. Dau, Kabupaten Malang, Jawa Timur. dilakukan pada bulan April – Juni 2024. Berdasarkan hasil penelitian, daerah perbukitan memiliki potensi sumber energi terbarukan yang cukup baik, dapat dilihat baik dari sinar matahari maupun angin. Dengan merancang sistem hybrid PLTS dan PLTB off-grid, kebutuhan energi listrik rumah tinggal di daerah tersebut dapat dipenuhi dengan memanfaatkan sumber energi terbarukan secara optimal.

IV. SIMULASI DAN ANALISA

Pada bagian ini pengujian dan pembahasan dari system hybrid yang sudah dirancang pada bab sebelumnya. Tujuan dari pengujian dan pembahasan sistem hybrid ini adalah untuk mengetahui kinerja dari keseluruhan sistem. Pengujian kinerja alat dan keseluruhan sistem didasarkan pada perancangan sistem. Hasil dari pengujian akan

digunakan sebagai dasar untuk menentukan kesimpulan.

A. Proses Pemasangan

Proses pemasangan alat dan bahan sesuai rangkaian pada bab sebelumnya PLTS dan PLTB menjadi system hybrid.



Gambar 7. Proses pemasangan system

B. Proses Pengukuran dan Pengujian

Proses pengujian dan pengukuran ini dilakukan untuk mengetahui tegangan, arus dan daya yang dihasilkan oleh system hybrid ini dengan menggunakan beban yang sebelumnya sudah ditentukan. Pelaksanaan ini dilakukan di Dusun Precet, Sumbersekar, Kec. Dau, Kabupaten Malang, Jawa Timur. Dengan langkah pengujian sebagai berikut :

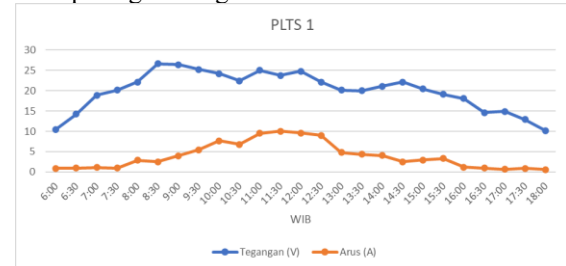
- Mengukur tegangan dan arus yang dihasilkan PLTS
- Mengukur tegangan dan arus yang dihasilkan PLTB
- Hasil daya yang dihasilkan PLTS dan PLTB

TABEL 3. PENGUKURAN PLTS

Waktu (WIB)	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)	Keterangan
6:00	10.5	0.9	9.45	Cerah
6:30	14.2	1	14.2	Cerah
7:00	18.9	1.1	20.79	Cerah
7:30	20.1	1	20.1	Cerah
8:00	22.1	2.9	64.09	Cerah
8:30	26.6	2.5	66.5	Cerah
9:00	26.4	4	105.6	Cerah
9:30	25.2	5.5	138.6	Cerah
10:00	24.2	7.7	186.34	Cerah
10:30	22.4	6.8	152.32	Cerah
11:00	25	9.5	237.5	Cerah
11:30	23.7	10	237	Cerah
12:00	24.8	9.6	238.08	Cerah
12:30	22.1	9	198.9	Cerah
13:00	20.1	4.8	96.48	Cerah Berawan
13:30	20	4.4	88	Cerah Berawan
14:00	21.1	4.1	86.51	Cerah
14:30	22.1	2.5	55.25	Cerah
15:00	20.4	3	61.2	Berawan
15:30	19.1	3.3	63.03	Berawan
16:00	18.1	1.2	21.72	Berawan
16:30	14.6	1	14.6	Berawan
17:00	14.9	0.7	10.43	Mulai Gelap
17:30	12.9	0.9	11.61	Mulai Gelap
18:00	10.2	0.6	6.12	Mulai Gelap

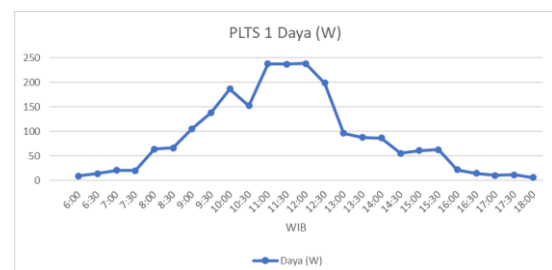
Pada tabel 3 Terlihat bahwa ketika intensitas cahaya matahari meningkat, tegangan dan arus juga meningkat. Ini menunjukkan bahwa cahaya matahari yang lebih kuat menghasilkan output panel surya yang lebih tinggi, yang pada gilirannya menghasilkan daya yang lebih besar. Data dengan nilai daya yang dihasilkan bervariasi yaitu dari 9,45 W hingga 238,08 W. Puncak output terjadi antara pukul 11:00-12:00 dengan daya sekitar

237-238 W. Hal ini menunjukkan bahwa panel surya bekerja paling efisien saat matahari berada di puncak. Namun, perlu diperhatikan bahwa kondisi cuaca sangat mempengaruhi output, terlihat dari penurunan signifikan saat kondisi berubah menjadi "Berawan" dan "Mulai Gelap" di sore hari. dan dapat dilihat pada gambar grafik 8 dan 9



Gambar 8 Grafik PLTS 1

Pada gambar 8 grafik PLTS 1 atau hari pertama terlihat hubungan antara tegangan (V) dan arus (A) yang dihasilkan oleh panel surya selama satu hari, dengan waktu (WIB) sebagai sumbu x. Tegangan yang dihasilkan (garis biru) menunjukkan pola yang lebih stabil dibandingkan arus (garis oranye). Tegangan mulai meningkat dari pagi hari sekitar pukul 6:00, mencapai puncaknya di sekitar yaitu 26.6 V sekitar pukul 8:30 kemudian cenderung stabil di kisaran 20-25 V sepanjang siang hari. Tegangan mulai menurun secara bertahap menjelang sore dan malam hari. Arus yang dihasilkan (garis oranye) menunjukkan fluktuasi yang lebih signifikan. Arus mulai terdeteksi sekitar pukul 7:00, meningkat hingga mencapai puncak yaitu 10 A sekitar pukul 11:30, lalu menurun cukup cepat setelahnya. Pola arus ini lebih mencerminkan intensitas cahaya matahari yang berubah sepanjang hari. Produksi listrik panel surya terlihat paling optimal antara pukul 9:00-14:00, di mana baik tegangan maupun arus berada pada nilai yang relatif tinggi. Output menurun signifikan setelah pukul 15:00, menandakan berkurangnya intensitas cahaya matahari di sore hari.



Gambar 9 Grafik Daya PLTS 1

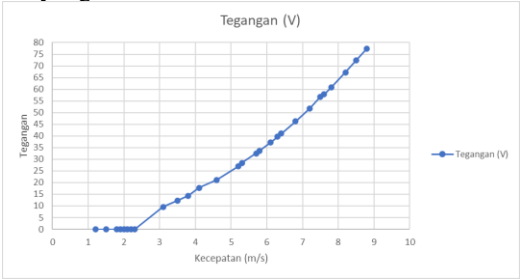
Pada grafik PLTS 1 Daya (W) terlihat pola produksi daya panel surya selama satu hari, dengan waktu (WIB) sebagai sumbu x dan daya dalam watt (W) sebagai sumbu y. Produksi daya mulai terdeteksi sekitar pukul 6:00 pagi, menandakan panel surya mulai menerima cahaya matahari. Daya meningkat secara bertahap sepanjang pagi hari, menunjukkan peningkatan intensitas cahaya matahari. menunjukkan puncak sekitar 237-238.08W terjadi sekitar pukul 11:00-12:00. Setelah mencapai puncak, terjadi penurunan daya yang cukup drastis antara pukul 13:00-14:00, mungkin disebabkan oleh perubahan kondisi cuaca atau posisi matahari. Menjelang malam, sekitar pukul 18:00, produksi daya menurun signifikan mendekati nol, menandakan berkurangnya cahaya matahari di akhir hari.

TABEL 4. PENGUKURAN PLTB BERDASARKAN KECEPATAN

Kecepatan (m/s)	Tegangan (V)
1.2	0
1.5	0
1.8	0
1.9	0
2.0	0
2.1	0
2.2	0
2.3	0
3.1	9.6
3.5	12.3
3.8	14.4
4.1	17.8
4.6	21.2
5.2	27
5.3	28.4
5.7	32.5
5.8	33.6
6.1	37.2
6.3	39.7
6.4	41
6.8	46.2
7.2	51.8
7.5	56.8

Kecepatan (m/s)	Tegangan (V)
7.6	57.8
7.8	60.8
8.2	67.2
8.5	72.3
8.8	77.4

Pada tabel 4 terlihat bahwa ketika kecepatan angin meningkat, tegangan yang dihasilkan juga meningkat. Ini menunjukkan bahwa angin yang lebih kuat menghasilkan output turbin yang lebih tinggi, dengan nilai tegangan yang dihasilkan bervariasi yaitu dari 0 V hingga 77.4 V. Turbin angin mulai menghasilkan tegangan pada kecepatan 3.1 m/s, yang menandakan titik awal produksi listrik. Setelah titik ini, peningkatan tegangan terlihat konsisten seiring dengan peningkatan kecepatan angin. Puncak output terjadi pada kecepatan angin tertinggi yang tercatat, yaitu 8.8 m/s dengan tegangan 77.4 V. Hal ini menunjukkan bahwa turbin angin bekerja paling efisien pada kecepatan angin yang tinggi dalam rentang data yang diberikan.



Gambar 10 Grafik PLTB Tegangan

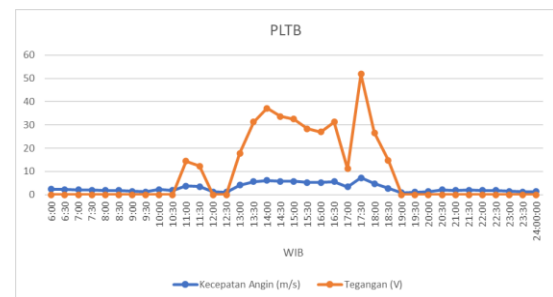
Grafik ini menunjukkan hubungan antara kecepatan (m/s) pada sumbu x dan tegangan (V) pada sumbu y untuk suatu sistem turbin angin. Turbin mulai menghasilkan listrik pada kecepatan angin 2,5 m/s. Di bawah kecepatan ini, turbin tidak menghasilkan listrik. Kecepatan angin efektif: 2,5 m/s hingga 9,5 m/s (batas grafik). Tegangan yang dihasilkan: 0 V hingga sekitar 75 V. Semakin tinggi kecepatan angin, semakin tinggi tegangan yang dihasilkan.

TABEL 5. PENGUKURAN PLTB
BERDASARKAN WAKTU

Waktu	Kecepatan Angin (m/s)	Tegangan (V)
6:00	2.3	0
6:30	2.2	0
7:00	2.1	0
7:30	2	0
8:00	1.9	0
8:30	1.8	0
9:00	1.5	0
9:30	1.2	0
10:00	2.2	0
10:30	1.9	0
11:00	3.8	14.4
11:30	3.5	12.3
12:00	1.2	0
12:30	1.1	0
13:00	4.1	17.8
13:30	5.6	31.2
14:00	6.1	37.2
14:30	5.8	33.6
15:00	5.7	32.5
15:30	5.3	28.4
16:00	5.2	27
16:30	5.6	31.2
17:00	3.3	11.2
17:30	7.2	51.8
18:00	4.8	26.6
18:30	2.7	14.8
19:00	0.9	0
19:30	1.1	0
20:00	1.3	0
20:30	2.1	0
21:00	1.9	0
21:30	2	0
22:00	1.9	0
22:30	1.8	0
23:00	1.5	0
23:30	1.2	0
24:00	1.3	0

Pada tabel 5 terlihat bahwa ketika kecepatan angin meningkat, tegangan yang dihasilkan juga meningkat. Ini menunjukkan bahwa angin yang lebih kuat menghasilkan output turbin yang lebih

tinggi, dengan nilai tegangan yang dihasilkan bervariasi yaitu dari 0 V hingga 37.2 V. Turbin angin mulai menghasilkan tegangan pada kecepatan 3.5 m/s, yang terlihat pada pukul 11:30 dengan tegangan 12.3 V. Hal ini menandakan titik awal produksi listrik turbin. Setelah titik ini, peningkatan tegangan terlihat konsisten seiring dengan peningkatan kecepatan angin pada waktu-waktu berikutnya. Puncak output terjadi sekitar pukul 14:00 dengan kecepatan angin 6.1 m/s dan tegangan 37.2 V. Hal ini menunjukkan bahwa turbin angin bekerja paling efisien pada siang hari ketika kecepatan angin mencapai puncaknya.



Gambar 11 Grafik PLTB berdasarkan Waktu

Grafik ini menunjukkan data Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) dengan dua parameter yang diukur sepanjang hari: kecepatan angin (m/s) dan tegangan (V). Sumbu x menampilkan waktu dalam WIB (Waktu Indonesia Barat) dari pukul 6:00 hingga 24:00 (00:00). Sumbu y menunjukkan nilai untuk kedua parameter tersebut. Kecepatan Angin (garis biru) relatif stabil dan rendah sepanjang hari, kecepatan angin relatif stabil, berkisar antara 2-7 m/s, dan puncak tertinggi sekitar 7.2 m/s terjadi sekitar pukul 17:30. Tegangan (garis oranye) menunjukkan fluktuasi yang lebih signifikan dibandingkan kecepatan angin. Tegangan mulai meningkat. Mencapai puncak tegangan tertinggi mencapai sekitar 51.8 V pada pukul 17:30. Periode produktif kinerja PLTB terbaik terlihat antara pukul 11:00-18:30. Pada waktu tertentu kecepatan angin di bawah 2.5 m/s tidak menghasilkan tegangan bernilai 0

C. Analisa Sistem Hybrid Analisa PLTS

Berdasarkan pembahasan dan perhitungan diatas kita dapat mengetahui daya yang dihasilkan dari Pembangkit Listrik Tenaga Surya berdasarkan waktu dan kondisi cuaca. Untuk menghitung daya yang dihasilkan berdasarkan data yang diperoleh besarnya daya adalah :

$$\begin{aligned}
 P &= V \times I \dots\dots\dots(5) \\
 &= 24.6 \times 8.5 \\
 &= 209.2 \text{ watt}
 \end{aligned}$$

Dari data yang diperoleh dapat dihitung daya rata-rata yang dihasilkan oleh PLTS tersebut yang dilakukan selama pengujian dengan menggunakan persamaan berikut :

$$\begin{aligned}
 &\bullet \text{ Daya rata-rata pengukuran PLTS 1} \\
 &\frac{P_1 + P_2 + P_3 \dots\dots\dots P_n}{n} = \frac{2204.42}{25} \\
 &\qquad\qquad\qquad = 88.1768 \text{ W}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan grafik PLTS (Pembangkit Listrik Tenaga Surya) di atas dapat dianalisis sebagai berikut:

1. Pola umum :
 - a. Pada grafik pada gambar 8 dan 9 menunjukkan Tegangan (V) berwarna biru dan Arus (A) berwarna oranye dan waktu (WIB).
 - b. Pada grafik pada gambar 10 menunjukkan Daya (W) berwarna biru.
 - c. Rentang Waktu PLTS mulai pukul 06:00 sampai 18:00
2. Perbedaan :
 - Mulai rendah di pagi hari, naik ke puncak, lalu menurun di malam hari.
 - Puncak PLTS 1 yaitu 26.6 V sekitar pukul 8:30
 - PLTS 1 lebih banyak fluktuasi sepanjang hari
 - PLTS 1 menunjukkan puncak sekitar 237-238.08W terjadi sekitar pukul 11:00-12:00
 - Mulai rendah, naik ke puncak sekitar tengah hari, lalu menurun
 - Puncak PLTS 1 yaitu 10 A sekitar pukul 11:30
 - PLTS 1 menunjukkan lebih banyak variabilitas

Analisa PLTB

Berdasarkan data di atas , dapat dianalisis sebagai berikut:

1. Penjelasan Gambar 10 :
 - a. Turbin mulai menghasilkan listrik pada kecepatan angin 2,5 m/s.
 - b. Di bawah kecepatan ini, turbin tidak menghasilkan listrik.
 - c. Kecepatan angin efektif: 2,5 m/s hingga 9,5 m/s (batas grafik).

- d. Tegangan yang dihasilkan: 0 V hingga sekitar 75 V.
- e. Turbin mulai efisien pada kecepatan angin sekitar 6 m/s ke atas.
- f. Kinerja optimal mungkin tercapai pada kecepatan 8-9 m/s.
- g. Semakin tinggi kecepatan angin, semakin tinggi tegangan yang dihasilkan.

2. Penjelasan Gambar 11

- a. Rentang waktunya yaitu pukul 6:00 hingga 24:00
- b. Kecepatan angin relatif stabil, berkisar antara 2-7 m/s, dan puncak tertinggi sekitar 7.2 m/s terjadi sekitar pukul 17:30
- c. Pada waktu tertentu kecepatan angin di bawah 2.5 m/s tidak menghasilkan tegangan bernilai 0
- d. Puncak tegangan tertinggi mencapai sekitar 51.8 V pada pukul 17:30
- e. Perubahan kecil dalam kecepatan angin menyebabkan perubahan besar pada tegangan output.
- f. Sistem tampaknya lebih efektif menghasilkan tegangan di siang hingga sore hari
- g. Periode produktif kinerja PLTB terbaik terlihat antara pukul 11:00-18:30.

Semakin tinggi kecepatan angin, semakin tinggi juga Tegangan yang dihasilkan PLTB.

V. PENUTUP

A. Kesimpulan

- 1) PLTS dan PLTB saling dilengkapi dengan fitur produksi yang berbeda. Untuk PLTS, hasilnya lebih stabil di siang hari, sementara untuk PLTB, hasilnya dapat membantu di sore hari atau pada waktu yang lebih beragam.
- 2) Sistem hybrid meningkatkan pasokan listrik secara keseluruhan dan mengurangi ketergantungan pada satu sumber daya . hybrid mengurangi ketergantungan pada satu sumber energi, meningkatkan keandalan pasokan listrik secara keseluruhan.
- 3) Sistem hybrid PLTS-PLTB ini adalah solusi yang lebih lengkap dan andal daripada sistem tunggal. Sistem kombinasi ini dapat menghasilkan jumlah energi yang optimal serta mengurangi ketergantungan pada satu sumber daya setiap hari.
- 4) Dengan menggunakan sistem off-grid, rumah tinggal di daerah perbukitan ini dapat memenuhi kebutuhan listriknya sendiri. Hal ini memungkinkan untuk tidak bergantung pada jaringan listrik utama, yang seringkali sulit dijangkau di daerah pedesaan atau perbukitan.

B. Saran

- 1) Melakukan pemeliharaan rutin pada kedua sistem untuk memastikan efisiensi dan umur pakai yang optimal.
- 2) Untuk selanjutnya merancang sistem yang fleksibel dan dapat diupgrade, mengingat teknologi energi terbarukan terus berkembang.
- 3) Untuk Arus pada PLTB tidak dicantumkan dikarenakan butuh penelitian yang lebih lanjut untuk solusi berikutnya.

VI. REFERENSI

- [1] T. Nathalia and W. Kurniawati, "Jurnal Pendidikan Multidisipliner Keefesiensian Penggunaan Panel Surya Dalam Pemakaian Rumah Tangga."
- [2] B. Romadhon, P. D. Palevi, and I. B. Sulistiawati, "Penerapan Algoritma Fuzzy Logic Pada Solar MPPT Controller," 2021. [Online]. Available: www.elektro.itn.ac.id
- [3] M. Suyanto, S. Subandi, S. Syafriyudin, and I. Mubarak, "Sistem Pengujian Tegangan Boost Converter Pada Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTH) Picohydro Kapasitas Rendah," *Journal of Electrical Power Control and Automation (JEPCA)*, vol. 3, no. 1, p. 8, Jul. 2020, doi: 10.33087/jepca.v3i1.33.
- [4] L. Mahfudz Hayusman, N. Saputera, and P. Negeri Banjarmasin, "STUDI PERENCANAAN PANEL KENDALI PLTS-PLN BERDASARKAN KAPASITAS BATERAI UNTUK PLTS OFF-GRID".
- [5] M. Rifaldi, R. Alham, M. N. Ihsan, and M. Sugianto, "Analisis Efisiensi Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya sebagai Sumber Energi Baru Terbarukan," DOI, 2023.
- [6] S. Muslim, K. Khotimah, and A. N. Azhiimah, "ANALISIS KRITIS TERHADAP PERENCANAAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA (PLTS) TIPE PHOTOVOLTAIC (PV) SEBAGAI ENERGI ALTERNATIF MASA DEPAN," vol. 3, no. 1, 2020, doi: 10.31869/rtj.v3i1.1638.
- [7] A. Sukma, P. : Desain, D. Simulasi, A. S. Pratiwi, S. Dwitya Nugraha, and E. Sunarno, "Desain dan Simulasi Bidirectional DC-DC Converter untuk Penyimpanan Energi pada Sistem

Fotovoltaik (Design and Simulation of Bidirectional DC-DC Converter for Energy Storage in Photovoltaic System)," 2020.

- [8] R. Harfi and B. Noviandi Hadi, "PERANCANGAN COLD STORAGE PORTABEL KAPASITAS 10 TON MENGGUNAKAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA," 2021. [Online]. Available: www.starrpanel.com

VII. BIODATA PENULIS

VIII.



Andrean Ekaputra Lewi lahir di Malang pada tanggal 11 September 2000, dan merupakan lulusan SMK NMC Malang pada tahun 2020, dan hingga saat ini Andrean masih aktif menjadi mahasiswa di ITN Malang. Email Andrean adalah andeanlewi@gmail.com