

Optimalisasi Filter Sumur Bor dan Embung ITK Berbasis Tenaga Surya untuk Peningkatan Pelayanan Sarana dan Prasarana

Yun Tonce Kusuma Priyanto^{1*}, Mifta Nur Farid², Muhammad Ridho Dewanto³, Kharis Sugiarto⁴, Riza Hadi Saputra⁵
^{1,2,3,4,5}Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Sains dan Teknologi Informasi, Institut Teknologi Kalimantan, Kota Balikpapan
email: yuntonce@lecturer.itk.ac.id

Abstract - The limited supply of conventional energy poses a challenge in operating essential facilities at Institut Teknologi Kalimantan (ITK), particularly in the water filtration system and reservoir management. To address this issue, this study proposes the implementation of an off-grid Solar Power Plant as a solution to enhance energy independence and improve the quality of clean water services on campus. This research aims to design and analyze the performance of an off-grid Solar Power Plant system in supporting water pump operations while evaluating its efficiency in providing sustainable energy. The designed system utilizes three solar panels with a total capacity of 1,635 WP, which is sufficient to meet the 243 W AC pump power demand. The generated energy is regulated using a Maximum Power Point Tracker (MPPT) to optimize power conversion and minimize energy losses. Additionally, a 1,000 Watt Pure Sine Wave inverter is employed to ensure the pump operates stably, while excess energy is stored in a 24V 180 Ah battery to maintain system operation during cloudy conditions or nighttime. The calculations indicate an energy surplus of 5.33 kWh, reinforcing the system's reliability in meeting the energy needs of the water pump. With a recorded pump efficiency of 55.5%, this study demonstrates that the designed PLTS system is effective in providing sustainable energy. The implementation of an off-grid Solar Power Plant has proven capable of supporting optimal water pump operations, enhancing campus energy independence, and reducing reliance on conventional electricity sources.

Keywords – Off-Grid Solar Power Plant, Water Filtration, Water Pump, Energy Efficiency, Energy Independence

Abstrak – Pasokan energi konvensional yang terbatas menjadi kendala dalam operasional fasilitas penting di Institut Teknologi Kalimantan (ITK), terutama dalam sistem filtrasi air dan pengoperasian embung. Untuk mengatasi permasalahan ini, penelitian ini mengusulkan penerapan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) off-grid sebagai solusi guna meningkatkan kemandirian energi dan kualitas layanan air bersih di kampus. Penelitian ini bertujuan untuk merancang serta menganalisis kinerja sistem PLTS off-grid dalam mendukung operasional pompa air, sekaligus mengevaluasi efisiensinya dalam penyediaan energi yang berkelanjutan. Sistem yang dikembangkan menggunakan tiga panel surya dengan kapasitas total 1.635 WP, yang mampu memenuhi kebutuhan daya pompa AC 243 W. Energi yang dihasilkan dikontrol menggunakan Maximum Power Point Tracker (MPPT) untuk mengoptimalkan konversi daya dan mengurangi pemborosan energi. Selain itu, inverter Pure Sine Wave 1.000 Watt digunakan untuk menjaga stabilitas operasi pompa, sementara energi berlebih disimpan dalam baterai berkapasitas 24V 180 Ah guna memastikan sistem tetap beroperasi saat cuaca mendung atau malam hari. Hasil perhitungan menunjukkan adanya surplus energi sebesar 5,33 kWh, yang memperkuat keandalan sistem dalam memenuhi kebutuhan energi pompa air. Dengan efisiensi pompa yang tercatat sebesar 55,5%,

penelitian ini menunjukkan bahwa sistem PLTS yang dirancang efektif dalam menyediakan energi berkelanjutan. Penerapan PLTS off-grid terbukti mampu mendukung operasional pompa air secara optimal, meningkatkan kemandirian energi kampus, serta mengurangi ketergantungan pada jaringan listrik konvensional.

Kata Kunci – PLTS Off-Grid, Filtrasi Air, Pompa Air, Efisiensi Energi, Kemandirian Energi.

I. PENDAHULUAN

Ketersediaan air bersih merupakan faktor krusial dalam menunjang aktivitas akademik dan operasional di Institut Teknologi Kalimantan (ITK). Sebagai institusi pendidikan yang terus berkembang, ITK membutuhkan sistem penyediaan air yang andal dan berkelanjutan guna mendukung berbagai fasilitas, termasuk laboratorium, perkantoran, serta kebutuhan mahasiswa dan staf. Namun, keterbatasan pasokan air dari sumber eksternal serta ketergantungan pada jaringan listrik konvensional menjadi tantangan utama dalam memastikan ketersediaan air bersih di kampus. Menurut ESDM, Indonesia memiliki potensi energi surya yang sangat besar, tetapi pemanfaatannya masih sangat terbatas dan belum dimanfaatkan secara optimal [1].

Salah satu solusi yang dapat diterapkan untuk mengatasi permasalahan ini adalah penggunaan filter sumur bor dan embung berbasis tenaga surya. Teknologi ini tidak hanya berfungsi untuk meningkatkan kualitas air yang digunakan di kampus, tetapi juga berkontribusi terhadap efisiensi energi serta kemandirian institusi dalam pengelolaan sumber daya air. Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) off-grid menawarkan solusi energi terbarukan yang dapat diandalkan untuk mengoperasikan sistem filtrasi air dan pompa pada embung, sehingga mengurangi ketergantungan pada listrik dari PLN. Terdapat studi yang menunjukkan bahwa pemanfaatan tenaga surya untuk sistem irigasi pertanian mampu meningkatkan efisiensi energi dan mengurangi biaya operasional dalam pengelolaan sumber daya air [2]. Namun, penelitian ini belum mengkaji secara mendalam efisiensi filtrasi air yang dihasilkan serta keberlanjutan sistem ketika diterapkan dalam lingkungan dengan kebutuhan konsumsi air yang lebih kompleks, seperti di kampus atau area industri.

Selain itu, berbagai penelitian telah menyoroti tantangan dalam pemanfaatan PLTS off-grid untuk sistem pompa air. Terdapat penelitian yang menjelaskan bahwa penggunaan PLTS untuk penerangan rumah tangga telah berhasil diterapkan di beberapa daerah, tetapi implementasinya masih memiliki keterbatasan pada daya tahan sistem penyimpanan

energi [3]. Penelitian lain juga menemukan bahwa salah satu tantangan utama dalam implementasi PLTS adalah efisiensi penyimpanan energi pada baterai yang dapat mempengaruhi keandalan sistem terutama pada malam hari atau saat cuaca mendung [4]. Hal ini diperkuat oleh studi lain yang menunjukkan bahwa suhu tinggi pada panel surya dapat mengurangi efisiensi konversi energi listrik hingga beberapa persen [5].

Terdapat penelitian yang menemukan bahwa atap gedung memiliki potensi besar untuk dimanfaatkan sebagai lokasi pemasangan PLTS, terutama dalam lingkungan institusi pendidikan [6]. Namun, efisiensi sistem ini masih perlu ditingkatkan agar dapat mendukung berbagai kebutuhan listrik kampus secara maksimal [6]. Selain itu, terdapat penelitian lain yang membahas desain sistem PLTS untuk pompa air *submersible*, tetapi masih terdapat tantangan dalam integrasi sistem dengan penyimpanan energi yang optimal untuk operasional berkelanjutan [7].

Beberapa penelitian juga telah membahas perancangan PLTS terpusat *off-grid* di berbagai sektor. Salah satunya adalah penelitian yang mengkaji perancangan PLTS untuk Gedung Laboratorium Terpadu II Fakultas Teknik Universitas Bengkulu, menunjukkan bahwa meskipun PLTS dapat digunakan untuk suplai daya mandiri, namun masih terdapat keterbatasan dalam penyimpanan dan efisiensi sistem [8]. Hal serupa juga ditemukan dalam penelitian lain yang mana efisiensi PLTS masih menjadi tantangan utama dalam implementasi skala besar [9].

Berdasarkan kekurangan-kekurangan yang ditemukan dalam penelitian sebelumnya, penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengevaluasi sistem filter sumur bor dan embung berbasis tenaga surya di ITK guna meningkatkan pelayanan sarana dan prasarana kampus. Studi ini akan mengkaji aspek kapasitas panel surya, efisiensi sistem filtrasi, keberlanjutan energi cadangan dalam kondisi cuaca buruk, serta performa pompa air dalam berbagai kondisi operasional. Dengan menerapkan sistem ini, diharapkan ITK dapat mengoptimalkan pemanfaatan energi terbarukan, meningkatkan kualitas layanan air bersih, serta mewujudkan kampus yang lebih mandiri dan berkelanjutan dalam pengelolaan sumber daya air.

II. PENELITIAN YANG TERKAIT

Penelitian terkait dalam bidang pemanfaatan energi surya untuk sistem penyediaan air telah banyak dilakukan oleh berbagai peneliti. Studi-studi ini mencakup implementasi Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) untuk berbagai keperluan, termasuk sistem pompa air, filtrasi air, serta efisiensi energi dalam penyimpanan daya. Namun, masih terdapat keterbatasan dalam integrasi sistem yang optimal, khususnya dalam lingkungan kampus yang memiliki kebutuhan air bersih yang kompleks. Pada bagian ini, akan diuraikan beberapa penelitian sebelumnya yang relevan serta perbedaan dengan penelitian yang dilakukan.

1. Pemanfaatan PLTS untuk Sistem Pompa Air

Terdapat studi yang melakukan penelitian tentang penggunaan pompa air tenaga surya untuk sistem irigasi pertanian [2]. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa pemanfaatan tenaga surya dapat meningkatkan efisiensi energi dan mengurangi biaya operasional dalam pengelolaan

sumber daya air [2]. Namun, penelitian ini lebih berfokus pada sistem irigasi di sektor pertanian, sedangkan penelitian yang dilakukan dalam studi ini lebih menekankan pada kebutuhan air bersih dalam lingkungan kampus.

Selain itu, terdapat penelitian lain yang membahas perancangan sistem PLTS untuk pompa air *submersible* [7]. Studi ini menunjukkan bahwa desain PLTS untuk sistem pompa air dapat bekerja secara efektif, tetapi masih menghadapi tantangan dalam integrasi dengan sistem penyimpanan energi yang optimal. Perbedaan utama dengan penelitian ini adalah fokus pada bagaimana sistem filtrasi air dapat dioperasikan secara efisien dalam lingkungan akademik dengan kebutuhan yang lebih kompleks.

2. Efisiensi dan Tantangan Penyimpanan Energi pada PLTS

Salah satu tantangan utama dalam pemanfaatan PLTS adalah efisiensi penyimpanan energi. Terdapat penelitian yang menyoroti keterbatasan daya tahan baterai dalam sistem PLTS dan bagaimana efisiensi penyimpanan energi masih menjadi hambatan dalam implementasi jangka panjang [4]. Selain itu, penelitian lain menunjukkan bahwa penggunaan PLTS untuk penerangan rumah tangga cukup berhasil, tetapi masih terdapat kendala dalam daya tahan sistem penyimpanan energi [3].

Penelitian ini akan mengatasi tantangan tersebut dengan mengevaluasi kapasitas penyimpanan energi yang optimal untuk memastikan keberlanjutan operasional sistem filtrasi air berbasis tenaga surya, terutama dalam kondisi cuaca mendung atau malam hari.

3. Pengaruh Suhu terhadap Efisiensi Panel Surya

Terdapat penelitian yang membahas bagaimana suhu tinggi pada panel surya dapat mengurangi efisiensi konversi energi listrik hingga beberapa persen [5]. Temuan ini menunjukkan bahwa tantangan utama dalam implementasi PLTS adalah menjaga efisiensi konversi energi dalam berbagai kondisi cuaca. Dalam penelitian ini, akan dilakukan evaluasi terhadap performa panel surya yang digunakan, serta pengaruh lingkungan terhadap efisiensi sistem secara keseluruhan.

4. Potensi Pemanfaatan Atap Gedung untuk PLTS

Terdapat penelitian yang melakukan kajian tentang potensi pemanfaatan atap gedung sebagai lokasi pemasangan PLTS di institusi pemerintahan [6]. Penelitian ini menunjukkan bahwa atap gedung dapat menjadi solusi untuk meningkatkan kapasitas daya listrik yang dihasilkan oleh PLTS, tetapi masih terdapat kendala dalam efisiensi sistem. Dalam penelitian ini, akan dianalisis bagaimana pemanfaatan ruang atap di Institut Teknologi Kalimantan (ITK) dapat mendukung sistem filtrasi air berbasis tenaga surya secara lebih efektif.

5. Implementasi PLTS dalam Lingkungan Kampus

Terdapat penelitian yang mengkaji perancangan PLTS untuk Gedung Laboratorium Terpadu II Fakultas Teknik Universitas Bengkulu [8]. Studi ini menunjukkan bahwa meskipun PLTS dapat digunakan sebagai sumber daya listrik mandiri, masih terdapat kendala dalam efisiensi penyimpanan dan integrasi sistem secara optimal. Hal serupa juga

ditemukan dalam penelitian lain yang menyoroiti bagaimana efisiensi PLTS masih menjadi tantangan utama dalam implementasi skala besar [9].

Berbeda dengan penelitian sebelumnya, penelitian ini akan lebih menitikberatkan pada aspek integrasi sistem PLTS dengan filtrasi air untuk mendukung kebutuhan air bersih di lingkungan kampus. Fokus utama adalah meningkatkan efisiensi sistem penyimpanan energi serta keberlanjutan sistem filtrasi dalam berbagai kondisi operasional.

6. Perbedaan dengan Penelitian Ini

Berdasarkan berbagai penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa meskipun pemanfaatan PLTS untuk sistem pompa air dan penerangan telah banyak dikaji, masih terdapat kesenjangan dalam implementasi sistem yang terintegrasi dengan filtrasi air, terutama dalam lingkungan kampus. Perbedaan utama penelitian ini dibandingkan dengan penelitian sebelumnya meliputi:

a. Integrasi PLTS dengan Sistem Filtrasi Air

Sebagian besar penelitian terdahulu lebih berfokus pada penggunaan PLTS untuk sistem pompa air atau penerangan rumah tangga, sedangkan penelitian ini mengkombinasikan PLTS dengan sistem filtrasi air guna meningkatkan kualitas air bersih di lingkungan akademik.

b. Evaluasi Keberlanjutan dan Efisiensi Energi:

Penelitian ini akan mengkaji kapasitas panel surya, efisiensi penyimpanan energi, serta keberlanjutan operasional sistem dalam kondisi cuaca yang bervariasi

c. Penerapan dalam Lingkungan Kampus:

Tidak seperti penelitian sebelumnya yang lebih banyak diterapkan di sektor pertanian atau perumahan, penelitian ini akan menganalisis penerapan sistem di lingkungan kampus yang memiliki kebutuhan air bersih lebih kompleks dan berkelanjutan.

Dengan memahami perbedaan ini, penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi baru dalam pengembangan sistem penyediaan air bersih berbasis energi terbarukan yang lebih efisien dan berkelanjutan di lingkungan pendidikan tinggi.

III. METODE PENELITIAN

3.1 Jenis Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan pendekatan eksperimen untuk menganalisis performa sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) dalam menyuplai daya ke beban berupa motor AC dengan kapasitas 243 W. Eksperimen dilakukan dengan menguji efisiensi daya keluaran dari panel surya, pengaruh bayangan terhadap daya yang dihasilkan, serta efisiensi pompa AC ketika menggunakan PLTS dengan kapasitas total 1635 WP.

3.2 Desain Penelitian

Desain penelitian ini dilakukan dengan pendekatan kuantitatif menggunakan metode eksperimen lapangan. Pengujian dilakukan dengan perancangan dan implementasi sistem PLTS yang terdiri dari panel surya, MPPT (Maximum Power Point Tracking), inverter, dan baterai sebagai penyimpan daya. Hasil pengujian dianalisis menggunakan metode perhitungan matematis serta evaluasi efisiensi sistem

berdasarkan parameter daya yang dihasilkan dan dikonsumsi oleh pompa AC.

3.3 Variabel Penelitian

Variabel dalam penelitian ini terdiri dari:

- Variabel Bebas: Intensitas cahaya matahari, jumlah panel surya, kapasitas baterai, kapasitas inverter, dan MPPT.
- Variabel Terikat: Daya keluaran dari panel surya, efisiensi konversi energi listrik, serta efisiensi pompa AC dalam mengubah energi listrik menjadi energi mekanik.
- Variabel Kontrol: Kondisi lingkungan seperti cuaca dan durasi penyinaran matahari yang dihitung selama 4 jam per hari.

3.4 Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi:

- Panel Surya:** Sebanyak 3 unit panel surya dengan kapasitas masing-masing 545 WP digunakan.
- Baterai:** 12V 60 Ah sebanyak 6 unit yang dirangkai seri-paralel untuk menghasilkan kapasitas total 24V 180 Ah.
- MPPT (Maximum Power Point Tracker):** Digunakan untuk mengoptimalkan daya listrik yang dikonversi dari panel surya.
- Inverter Pure Sine Wave 1000 W:** Digunakan untuk mengubah arus searah (DC) menjadi arus bolak-balik (AC) guna menyuplai daya ke pompa AC.
- Beban:** Motor AC dengan daya 243 W dan tegangan 220 V digunakan sebagai beban.
- Alat Ukur:
 - Multimeter digunakan untuk mengukur tegangan dan arus listrik.
 - Clamp meter digunakan untuk mengukur arus yang mengalir pada sistem.
 - Pyranometer digunakan untuk mengukur intensitas radiasi matahari.
 - Wattmeter digunakan untuk mengukur konsumsi daya oleh beban.
 - Data logger digunakan untuk merekam data daya keluaran panel surya.

3.5 Prosedur Penelitian

- Perancangan dan Instalasi Sistem PLTS
 - Panel surya dipasang pada lokasi dengan paparan sinar matahari optimal.
 - Panel surya dihubungkan ke MPPT, baterai, dan inverter sesuai dengan skema desain.
 - Inverter dihubungkan dengan beban berupa motor AC.
- Pengujian Kinerja Sistem
 - Daya yang dihasilkan oleh panel surya diukur selama durasi penyinaran optimal (4 jam per hari).
 - Efisiensi MPPT dihitung dengan membandingkan daya input dan output yang dikirim ke baterai.

- 3) Kinerja inverter dalam mengubah arus DC menjadi AC diuji.
- c. Simulasi Pengaruh Bayangan terhadap Daya Panel Surya
 - 1) Objek tertentu digunakan untuk mensimulasikan bayangan yang menutupi sebagian panel surya.
 - 2) Daya keluaran sebelum dan sesudah adanya bayangan diukur.
 - 3) Dampak bayangan terhadap daya yang dihasilkan dan efisiensi sistem dianalisis.
- d. Perhitungan Efisiensi Pompa
 - 1) Daya input yang dikonsumsi pompa diukur.
 - 2) Daya output yang digunakan untuk memompa air diukur.
 - 3) Efisiensi pompa dihitung menggunakan persamaan:

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% \quad (1)$$

dengan P_{out} adalah daya keluaran pompa dan P_{in} adalah daya listrik yang masuk.

3.6 Teknik Pengolahan dan Analisis Data

Data yang diperoleh dianalisis secara kuantitatif dengan metode berikut:

- a. Analisis Daya Keluaran Panel Surya
 - Total energi yang dihasilkan dihitung menggunakan persamaan:
- $$E = P \times t \quad (2)$$
- di mana adalah energi yang dihasilkan (Wh), adalah daya panel surya (Wp), dan adalah durasi penyinaran (jam).
- b. Analisis Kinerja MPPT
 - Efisiensi MPPT dihitung berdasarkan perbandingan daya yang dikirim ke baterai dengan daya yang dihasilkan oleh panel surya.
 - c. Analisis Kinerja Inverter
 - Performa inverter dinilai berdasarkan rasio daya keluaran terhadap daya masukan.
 - d. Analisis Efisiensi Pompa
 - Efisiensi pompa dihitung berdasarkan daya listrik yang dikonsumsi dan daya mekanik yang dihasilkan untuk memompa air.
 - e. Analisis Dampak Bayangan terhadap Kinerja Panel Surya
 - Daya keluaran panel surya sebelum dan sesudah diberi bayangan dibandingkan.
 - Persentase penurunan daya digunakan untuk menilai pengaruh bayangan terhadap kinerja sistem PLTS.

3.7 Validitas dan Reliabilitas Data

Validitas dan reliabilitas data dijamin dengan:

- a. Alat ukur yang telah dikalibrasi digunakan.
- b. Pengukuran dilakukan secara berulang untuk memastikan konsistensi hasil.
- c. Metode analisis yang sesuai dengan standar perhitungan efisiensi energi diterapkan.

3.8 Batasan Penelitian

Beberapa keterbatasan dalam penelitian ini meliputi:

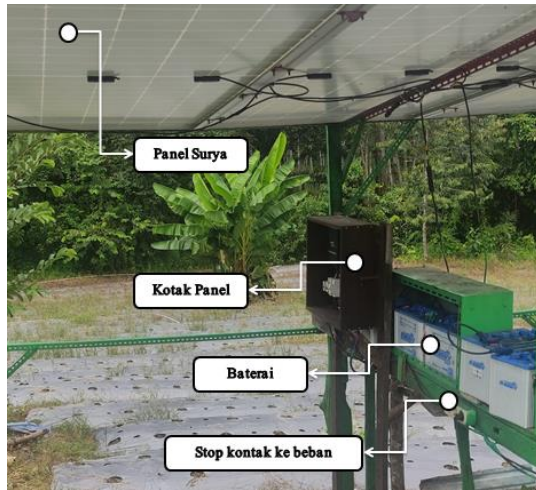
1. **Faktor Cuaca:** Intensitas penyinaran matahari dapat bervariasi tergantung kondisi cuaca.
2. **Lingkungan Pengujian:** Eksperimen dilakukan dalam kondisi lingkungan tertentu yang mungkin berbeda dengan lokasi lain.
3. **Kapasitas Beban:** Penelitian ini berfokus pada suplai daya untuk satu jenis beban, sehingga belum mengkaji dampak terhadap beban lainnya.

Dengan metode penelitian yang sistematis ini, diharapkan hasil yang diperoleh dapat memberikan wawasan yang lebih dalam mengenai kinerja PLTS dalam menyuplai daya ke beban motor AC serta pengaruh berbagai faktor terhadap efisiensi sistem secara keseluruhan.

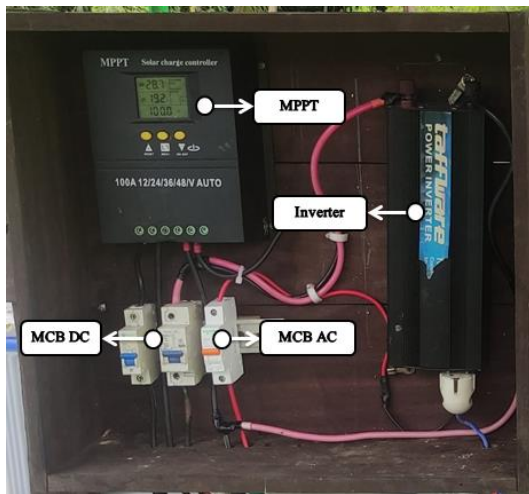
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini, data diperoleh melalui serangkaian pengujian terhadap panel surya dengan kapasitas 545 WP yang dikombinasikan dengan baterai sebagai media penyimpanan daya listrik. Sistem ini dilengkapi dengan MPPT (Maximum Power Point Tracking), yang berfungsi untuk memastikan panel surya beroperasi pada titik daya optimal, sehingga efisiensi konversi energi dari sinar matahari ke listrik dapat dimaksimalkan. MPPT berperan penting dalam menyesuaikan arus dan tegangan yang dihasilkan oleh panel surya agar dapat disimpan secara optimal dalam baterai. Selain itu, MPPT juga membantu menjaga stabilitas daya yang dikirim ke inverter dalam bentuk arus searah (DC). Inverter kemudian mengonversi daya ini menjadi arus bolak-balik (AC) yang dapat digunakan oleh beban berupa motor AC berdaya 243 W dengan tegangan operasi 220 V.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui daya keluaran yang dapat dihasilkan oleh panel surya dalam kondisi ideal serta dalam kondisi ketika panel surya tertutup sebagian oleh bayangan. Selain itu, efisiensi pompa AC 243 W juga dianalisis dalam kaitannya dengan penggunaan PLTS berkapasitas 1635 WP. Dengan perencanaan sistem yang tepat, diharapkan dapat diperoleh pemahaman lebih lanjut mengenai efektivitas sistem PLTS dalam mendukung kebutuhan daya beban tertentu. Adapun skema perencanaan sistem PLTS yang digunakan dalam penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 1 dan Gambar 2.



Gambar 1. Sistem PLTS



Gambar 2. Panel Box PLTS

Adapun perencanaan perhitungan komponen-komponen apa saja yang akan digunakan pada sistem PLTS menggunakan beberapa persamaan sebagai berikut.

4.1 Menentukan kapasitas dan jumlah panel surya

Dalam perencanaan sistem PLTS ini, untuk menentukan jumlah panel surya yang digunakan adalah mengetahui terlebih dahulu nilai daya puncak yang merupakan besarnya atau optimalnya nominal daya tertinggi yang dapat dihasilkan dari sebuah panel surya dan titik puncak penyinaran matahari berlangsung sekitar 4 jam.

$$\text{Kapasitas solar panel} = \frac{E}{SPH} = \frac{220 \times 1.3 \times 0.85 \times 5 \text{ jam}}{4 \text{ jam}}$$

$$\text{Kapasitas solar panel} = 303.75 \text{ WP}$$

Jadi, nilai daya puncak panel yang dibutuhkan yaitu minimal sebesar 303.75 WP. Selanjutnya, yaitu menghitung berapa banyak jumlah solar panel yang akan dipasang, menggunakan persamaan sebagai berikut.

$$N_{pv} = \frac{\text{kapasitas solar panel}}{M_{pp}} = \frac{303.75}{545} = 0.55$$

$$N_{pv} \approx 1 \text{ panel surya}$$

Didapatkan perhitungan dari nilai daya puncak minimum dari panel surya yaitu sebesar 303.75 Wp, dan jumlah panel surya dengan daya puncak sebesar 545 Wp agar terpenuhi secara maksimal yaitu sebanyak 1 unit. jadi, 1 unit panel surya dapat menghasilkan daya maksimum 545 watt dalam 1 hari pada kondisi sinar matahari penuh yaitu selama 4 jam, namun penulis menggunakan panel surya 545 Wp sebanyak 3 unit panel surya, maka total daya yang dihasilkan oleh 3 panel surya yaitu:

$$\text{Total daya 3 panel surya} = 545 \times 3 = 1635 \text{ WP}$$

Dengan durasi sinar matahari penuh yaitu selama 4 jam. Maka total energi yang dihasilkan dalam sehari yaitu sebesar:

$$\text{Energi harian 3 panel surya} = 1635 \text{ WP} \times 4 \text{ jam}$$

$$\text{Energi harian 3 panel surya} = 6540 \text{ Wh}$$

$$\text{Energi harian 3 panel surya} = 6.54 \text{ kWh}$$

Berdasarkan perhitungan sebelumnya, kebutuhan daya beban perhari adalah 1215Wh = 1.21 kWh, maka didapatkan perbandingan dari total energi yang dihasilkan oleh 3 panel surya yaitu:

$$\text{Surplus energi} = 6.54 \text{ kWh} - 1.21 \text{ kWh}$$

$$\text{Surplus energi} = 5.33 \text{ kWh}$$

Dengan demikian, 3 panel surya akan menghasilkan lebih dari cukup daya untuk memenuhi kebutuhan harian dari beban, dengan menggunakan tambahan 3 panel surya pada saat kondisi hari yang mendung atau kondisi cuaca yang buruk panel surya mungkin tidak menghasilkan daya yang maksimal, namun masih bisa mensuplai daya ke beban dengan baik karena tambahan panel surya. Dengan adanya 5.33 kWh lebih banyak energi yang dibutuhkan, energi ini dapat disalurkan ke baterai dengan tujuan untuk menyimpan cadangan energi sehingga energi yang disimpan dapat digunakan pada saat malam hari ataupun pada kondisi cuaca yang mendung.

4.2 Menentukan SCC/MPPT pada sistem PLTS

Kapasitas SCC dihitung berdasarkan daya maksimal yang dapat dihasilkan oleh panel surya. Jumlah daya yang terukur dari tiga panel surya 545 Wp adalah 1635 Watt. Setelah mengetahui nilai daya maksimal panel surya, kapasitas SCC dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$\text{Kapasitas arus SCC} = \frac{\text{daya maksimal panel} \times \text{safety factor}}{V_{mp}}$$

$$I = \frac{1215 \text{ Watt} \times 1.24}{41.8} = 36.3 \text{ A}$$

Berdasarkan perhitungan diatas, kapasitas SCC yang digunakan pada perencanaan ini sebanyak 1 buah dengan minimum spesifikasi 36.3 A. Pada perancangan kali ini,

penulis menggunakan *Maximum Power Point Tracker Solar Charge Controller* dengan kapasitas sebesar 100 A.

Adapun alasan penulis menggunakan *Maximum Power Point Tracker* (MPPT) dibandingkan dengan *Solar Charge Controller* yaitu MPPT bekerja dengan cara menyesuaikan tegangan dan arus untuk memastikan panel surya bekerja pada titik daya maksimum (*maximum power point*), sedangkan SCC tidak pemantauan atau penyesuaian untuk mencapai titik daya maksimum, yang mengarah pada efisiensi yang lebih rendah. Dan juga MPPT mengurangi pemborosan energi dan memastikan panel surya memberikan output yang maksimal. sedangkan SCC biasanya hanya bekerja pada satu titik yang tetap, yang bisa mengurangi output energi, terutama jika panel surya bekerja pada kondisi yang kurang baik.

4.3 Menentukan inverter pada sistem PLTS

Kapasitas *inverter* ditentukan berdasarkan besarnya daya maksimal yang digunakan oleh beban pompa air dan nilai *safety factor*. Sebagian besar instalasi akan memiliki rasio *safety factor* antara 1,15 sampai dengan 1,25, dalam perencanaan ini digunakan *safety factor* terbesar yaitu 1,25.

Kapasitas *inverter* dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

$$\text{Kapasitas Inverter} = 243 \text{ W} \times 1.25 = 303.75 \text{ W}$$

Jika kapasitas *inverter* yang digunakan sesuai dengan jenis beban dan perhitungan diatas, maka *inverter* yang digunakan adalah *Inverter Pure Sine Wave* dengan daya 1.000 Watt. Penulis menggunakan *Inverter pure sine wave* dikarenakan *inverter* ini menghasilkan gelombang listrik yang lebih mirip dengan listrik AC yaitu gelombang sinusoidal murni sehingga memastikan beban seperti motor AC dapat berfungsi secara optimal tanpa adanya pengurangan efisiensi dan kerusakan pada alat akibat distorsi gelombang, jika dibandingkan dengan alternatif lainnya seperti *modified sine wave* dan *square wave*, *inverter pure sine wave* lebih efisien untuk beban elektronik seperti motor AC. penulis juga menggunakan *inverter* dengan daya sebesar 1.000 Watt untuk mengantisipasi apabila terjadi lonjakan daya yang mungkin terjadi pada pompa air, dan untuk berjaga-jaga apabila ingin menambah beban.

4.4 Kapasitas Baterai

Dalam menentukan kapasitas atau kemampuan baterai dalam menyimpan energi listrik yang berasal dari panel surya yang akan digunakan sebagai penyedia energi daya listrik ke beban secara efisien. Kapasitas baterai dipengaruhi oleh pemakaian energi listrik (E_t), %DOD, yaitu sebesar 80%, dan tegangan sistem pada baterai (V_s) itu sendiri. Parameter lain yang mempengaruhi adalah penemuan *Autonomy days* yaitu dimana keadaan baterai dapat menyuplai beban secara menyeluruh ketika tidak ada energi yang masuk dari panel surya atau keadaan saat cuaca mendung dan hujan. Penentuan pada *Autonomy Days* ini adalah 1 hari.

$$\text{Kapasitas baterai} = \frac{Wh \times \text{Autonomy days}}{(\text{DoD} \times V_s)} = \frac{1215 \times 1}{0.8 \times 24}$$
$$\text{Kapasitas baterai} = 63.28 \text{ Ah}$$

Pada perancangan ini, kapasitas baterai yang akan digunakan dapat ditentukan berdasarkan energi listrik yang dibutuhkan pada pompa air selama 5 jam yaitu 243 watt x 5 yaitu 1215 Watt dan tegangan yang dibutuhkan yaitu 24 V. Sehingga baterai yang penulis gunakan yaitu baterai sebesar 12V 60 ah sebanyak 6 buah yang saya rangkai secara seri paralel sehingga didapatkan baterai sebesar 24V 180 ah. Adapun alasan mengapa dirangkai secara seri menjadi 24 V adalah karena jarak antara PLTS dengan pompa yang cukup jauh sehingga memerlukan kabel yang cukup panjang, oleh karena itu diperlukan tegangan yang cukup besar yaitu 24 V untuk mengurangi arus yang melewati kabel agar mengurangi kerugian daya akibat resistansi dalam kabel, dan juga mengapa dirangkai secara paralel 180 Ah. yaitu agar dapat memenuhi kebutuhan daya dari pompa yang membutuhkan kapasitas baterai yang cukup untuk beroperasi dalam jangka waktu yang lebih lama. 180 Ah berarti baterai ini dapat memberikan arus sebesar 180 ampere selama satu jam atau arus yang lebih kecil untuk periode yang lebih panjang.

4.5 Efisiensi pompa

Efisiensi pompa merupakan parameter penting yang menggambarkan seberapa baik sebuah pompa mengubah energi mekanik yang diberikan menjadi energi fluida yang bergerak. Perhitungan efisiensi ini dilakukan dengan membandingkan daya output yang dihasilkan pompa, yaitu daya yang digunakan untuk memompa air, dengan daya input yang disuplai ke pompa. Efisiensi yang tinggi menunjukkan bahwa pompa bekerja secara optimal.

Untuk menentukan efisiensi dari pompa menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$P_{out} = \rho \times g \times Q \times H$$
$$P_{out} = 1000 \times 9.81 \times 0.3 \times 10^{-4} \times 40$$
$$P_{out} = 134.2 \approx 135 \text{ W}$$

Setelah didapatkan daya keluaran dari pompa AC yaitu sebesar 135 Watt dengan nilai daya listrik masukkan ke pompa yaitu sebesar 243 W. Maka, dapat dicari nilai efisiensi dari pompa menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\eta = \frac{135 \text{ W}}{243 \text{ W}} \times 100\% = 55.5\%$$

Maka, didapatkan nilai efisiensi dari pompa adalah sebesar 55.5%

V. KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang dilakukan, dapat disimpulkan bahwa:

- Sistem PLTS dengan kapasitas 1635 WP mampu memenuhi kebutuhan daya motor AC 243 W dengan surplus energi harian sebesar 5.33 kWh.
- Bayangan pada panel surya menurunkan efisiensi daya secara signifikan.
- MPPT meningkatkan efisiensi konversi energi dibandingkan dengan *Solar Charge Controller* konvensional.
- Inverter Pure Sine Wave* 1000 W bekerja optimal dalam menjaga stabilitas daya untuk beban motor AC.

- e. Efisiensi pompa AC sebesar 55.5% menunjukkan adanya peluang peningkatan efisiensi energi dalam sistem.
- f. Sistem masih bergantung pada kondisi cuaca dan kurang optimal dalam menyuplai daya tambahan.

5.2 Saran

Untuk pengembangan lebih lanjut, disarankan:

- a. Mengoptimalkan efisiensi pompa dengan pemilihan model yang lebih hemat energi.
- b. Meneliti teknologi baterai dengan kapasitas dan efisiensi penyimpanan yang lebih baik.
- c. Menggunakan sistem pelacakan matahari atau panel dengan toleransi bayangan tinggi.
- d. Menguji kinerja sistem dengan variasi beban agar lebih fleksibel.
- e. Mengembangkan integrasi PLTS dengan smart grid atau hybrid system untuk meningkatkan keandalan daya.

Diharapkan saran ini dapat meningkatkan efisiensi dan keandalan sistem PLTS ke depannya.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Kementerian ESDM RI, (2021), Indonesia Kaya Energi Surya, Pemanfaatan Listrik Tenaga Surya oleh Masyarakat Tidak Boleh Ditunda, Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia, dilihat 2 Februari 2021, <<https://ebtke.esdm.go.id/post/2021/09/02/2952/in-donesia.kaya.energi.surya.pemanfaatan.listrik.tenaga.surya.oleh.masyarakat.tidak.boleh.ditunda>.
- [2] Martawati, M. (2018). "Analisis Simulasi Pengaruh Variasi Intensitas Cahaya Terhadap Daya dari Panel Surya". *Jurnal Eltek*, 16(1). Hal. 125 - 136.
- [3] Retno, A., D. Erlina, Cristine, W. (2017). "STUDI PENYIMPANAN ENERGI PADA BATERAI PLTS". Sekolah tinggi teknik-PLN (STT-PLN)
- [4] Saputro, P. H., Z. Hidayat, A. P. Kusuma, R. D. P. Putra, dan P. Gunoto. (2022). "Pemanfaatan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) sebagai Alat Penerangan Rumah Tangga di Desa Air Naga Galang Kota Batam". *Media Sains Indonesia*.
- [5] Syawil, M., dan N. Kadir. (2021). "Rancang Bangun Modul Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Sistem Off-grid sebagai Alat Penunjang Praktikum di Laboratorium". *Jurnal Pengelolaan Laboratorium Pendidikan*, 3(1). Hal. 26 – 735.
- [6] Febriana Pratiwi, N., Pudir, A., & Mursanto, W. B. (2022). Perancangan PLTS Atap On Grid Kapasitas 163,8 kWp untuk Suplai Daya Industri Tekstil. *Prosiding Industrial Research Workshop and National Seminar*, 13(1), 13–14. <https://jurnal.polban.ac.id/ojs-3.1.2/proceeding/article/view/4278>
- [7] Indra Bayu, J., Budi Sulistiyawati, I., & Putu Agustini, N. (2023). Monitoring Pengaruh Suhu Pada Panel Surya Terhadap Performa Keluaran Pembangkit Listrik Tenaga Surya. *Jurnal FORTECH*, 4(1), 27–32. <https://doi.org/10.56795/fortech.v4i1.4104>
- [8] Manan, S. (2009). Energi Matahari, Sumber Energi Alternatif yang Effisien, Handal dan Ramah Lingkungan di Indonesia. *Energi Matahari Sumber Energi Alternatif Yang Effisien, Handal Dan Ramah Lingkungan Di Indonesia*, 31–35. <http://eprints.undip.ac.id/1722>
- [9] Rizkasari, D., Wilopo, W., & Ridwan, M. K. (2020). Potensi Pemanfaatan Atap Gedung Untuk Plts Di Kantor Dinas Pekerjaan Umum, Perumahan Dan Energi Sumber Daya Mineral (Pup-Esdm) Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta. *Journal of Appropriate Technology for Community Services*, 1(2), 104–112. <https://doi.org/10.20885/jattec.vol1.iss2.art7>
- [10] Suratno, S., & Cahyono, B. D. (2023). Rancang Bangun Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Sebagai Catu Daya Pompa Air Submersible. *Jurnal Teknik Elektro Uniba (JTE UNIBA)*, 7(2), 309–319. <https://doi.org/10.36277/jteuniba.v7i2.220>
- [11] Yahyaoui, I., Atieh, A., Tadeo, F., & Tina, G. M. (2017). Energetic and economic sensitivity analysis for photovoltaic water pumping systems. *Solar Energy*, 144, 376–391. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2017.01.040>