

Sistem Pengisian Baterai VRLA 200Ah 24V Pada Pembangkit Listrik Tenaga Surya 6x100 Wp di PPYD Al-Ikhlas, Singosari, Kabupaten Malang

Binar Surya Gumilang^{a,*}, Saddani Djulihenanto^{a)}, Satria Luthfi Hermawan^{a)}, Karenina Ledy Andinia^{a)}, Yasinta Ika Wardania^{a)}

(Received 22 September 2024 || 10 Oktober 2024 || Accepted 28 Oktober 2024)

Abstract: The electricity tariff is considered quite high in Indonesia for certain circles. One of them is PPYD Al-Ikhlas, Singosari, Malang Regency who experienced this. To overcome this, an electricity plant originating from solar energy was built at PPYD Al-Ikhlas that has maximum power of 600wp. Solar power plant that generates 24 hours / 7 days a week need battery system for storage the directly unused energy. The battery used is a Solana brand VRLA battery with a capacity of 100Ah/12V in a number of 4 pieces arranged in series-parallel, bringing the total capacity to 200 Ah/24V. Based on this thought, design and build a battery charging system with the aim of determining the components to be used and knowing the performance of the battery charging system. For charging the battery itself, it has become one with inverter hybrid with a capacity of 2400 Watts. From the testing after the installation of the components that have been carried out, the results show that this battery charging system uses a four-stage charging system method. From the data obtained, it can be seen average efficiency is 80,88%. So the efficiency of charging the battery in PLTS is considered good based on the data.

Keywords: VRLA, battery charging, solar energy, charge controller, DC – DC Converter

1. Pendahuluan

Meskipun teknologi pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) telah banyak berkembang, sistem penyimpanan energi khususnya untuk baterai VRLA (Valve-Regulated Lead-Acid) masih menghadapi berbagai tantangan teknis. Baterai VRLA memerlukan sistem pengisian daya yang mampu menjaga performa optimal tanpa memperpendek umur baterai akibat over-charging atau over-discharging. Penelitian sebelumnya menunjukkan adanya kendala pada efisiensi pengisian baterai di berbagai skala PLTS, terutama di wilayah dengan intensitas matahari yang fluktuatif. Namun, kajian mengenai metode pengisian yang paling efektif untuk baterai VRLA dalam sistem PLTS berskala kecil hingga menengah masih terbatas. Oleh karena itu, diperlukan analisis mendalam untuk mengetahui metode pengisian yang paling optimal bagi baterai VRLA dalam konteks PLTS yang dihadapi oleh institusi seperti PPYD Al-Ikhlas.

Penelitian dalam bidang penyimpanan energi untuk sistem pembangkit listrik tenaga surya semakin mendesak, terutama dalam konteks energi terbarukan di Indonesia yang terus berkembang. Keterbatasan pasokan energi listrik di beberapa daerah, ditambah dengan tarif listrik yang relatif tinggi, mendorong penggunaan energi matahari sebagai alternatif yang ramah lingkungan dan ekonomis. PLTS tidak hanya memberikan solusi bagi lembaga seperti PPYD Al-Ikhlas di Malang yang mengalami keterbatasan biaya, tetapi juga memberikan kontribusi dalam upaya pengurangan emisi karbon. Penggunaan baterai VRLA sebagai penyimpanan energi semakin relevan mengingat daya tahan dan kapasitasnya, meskipun dibutuhkan penelitian lebih lanjut untuk mencapai efisiensi optimal. Oleh karena itu, upaya untuk meningkatkan performa dan efisiensi pengisian baterai dalam sistem PLTS menjadi semakin penting.

Peningkatan efisiensi pengisian daya pada sistem energi terbarukan, terutama dalam konteks penyimpanan energi berbasis baterai, menjadi kebutuhan mendesak di berbagai sektor. Penggunaan energi surya sebagai sumber energi bersih yang

berkelanjutan dapat menjadi alternatif untuk mengurangi ketergantungan pada energi fosil. Namun, keberhasilan dalam pemanfaatan energi terbarukan ini sangat dipengaruhi oleh efisiensi sistem penyimpanan energi yang ada, yang menjadi fokus penelitian ini. Pembangunan sistem pengisian baterai yang optimal tidak hanya meningkatkan umur baterai, tetapi juga memungkinkan energi terbarukan dimanfaatkan secara maksimal tanpa tergantung pada pasokan listrik eksternal. Dengan demikian, penelitian ini memiliki relevansi yang tinggi dalam menjawab kebutuhan energi yang lebih ramah lingkungan dan ekonomis.

Tujuan utama dari penelitian ini adalah merancang dan mengembangkan sistem pengisian baterai VRLA pada pembangkit listrik tenaga surya yang lebih efisien dan tahan lama. Sistem yang diusulkan diharapkan dapat mendukung operasional Pondok Pesantren Yatim Duafa (PPYD) Al-Ikhlas dengan sumber energi yang stabil dan hemat biaya. Penelitian ini juga bertujuan untuk mengevaluasi efisiensi metode pengisian empat tahap serta kinerja hybrid inverter dalam mengoptimalkan penggunaan energi surya. Dengan pencapaian ini, diharapkan sistem pengisian daya yang lebih andal dapat diterapkan secara lebih luas, terutama pada institusi atau wilayah yang mengalami kendala akses terhadap energi listrik konvensional. Melalui pengujian sistem, penelitian ini berupaya menyajikan solusi inovatif bagi permasalahan efisiensi energi di sektor energi terbarukan.

2. Metodologi

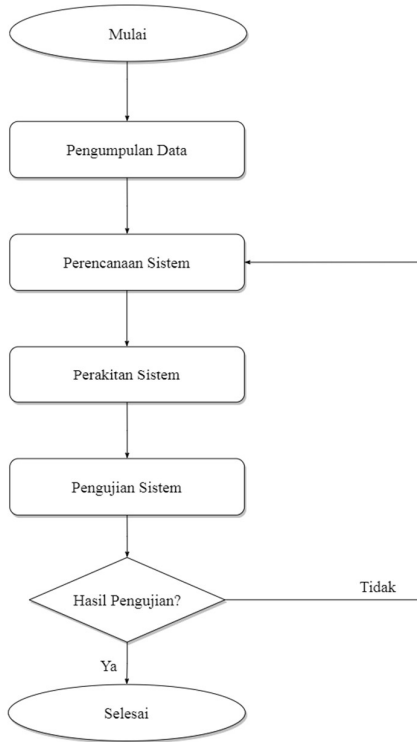
2.1 Alur Penelitian

Pada metodologi ini, yang menjadi objek penelitian adalah desain sistem pengisian baterai, penentuan spesifikasi komponen dan analisa singkat kinerja sistem pengisian baterai. Pada gambar di bawah ini menunjukkan flowchart atau langkah pengerjaan untuk menyelesaikan penelitian ini yang dimulai dari pengumpulan data melalui studi literatur, observasi, wawancara dan pengukuran untuk mendapatkan data yang dibutuhkan. Data yang dibutuhkan adalah data radiasi matahari dan data beban yang terpasang pada PPYD Al-Ikhlas, Singosari, Kabupaten Malang. Setelah melakukan pengumpulan data Langkah selanjutnya adalah melakukan

*Korespondensi: binar.surya@polinema.ac.id

a) Prodi Sistem Kelistrikan, Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Malang, Jl. Sukarno Hatta no.9 Kota Malang, Jawa Timur Indonesia

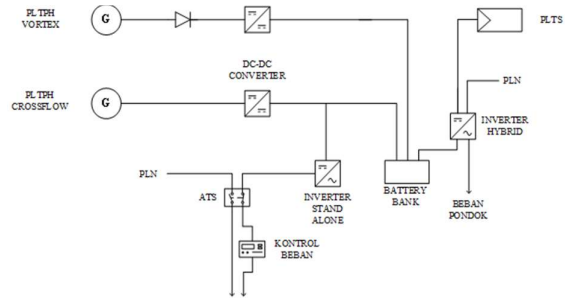
perencanaan sistem pada Pembangkit Listrik Tenaga Surya, secara keseluruhan pada sistem pembangkit ini terdiri dari tiga pembangkit yaitu, Pembangkit Listrik Tenaga Piko hidro tipe vortex, , Pembangkit Listrik Tenaga Piko hidro tipe Crossflow dan Pembangkit Listrik Tenaga Surya. Pada perencanaan sistem sendiri sudah termasuk perencanaan komponen yang akan digunakan dalam sistem itu sendiri. Setelah sistem terancang dengan jelas dan pasti, Langkah selanjutnya adalah melakukan perakitan sistem. Saat sistem telah terakit secara keseluruhan dan sesuai dengan perencanaan awal, maka akan dilakukan pengujian sistem untuk mengetahui apakah sistem bekerja dengan baik atau tidak. Pada pengujian sistem alat yang dibutuhkan adalah Tang ampere dan volt meter untuk mengukur besaran arus dan tegangan pada rangkaian yang akan diukur. Selanjutnya, jika hasil pengujian baik maka sistem tersebut sudah selesai dan sesuai dengan rencana. Namun, jika hasil pengujian tidak dapat dapat bekerja dengan baik maka akan dilakukan pengulangan mulai tahap perencanaan sistem hingga tahapan selanjutnya sampai sistem benar-benar dapat bekerja dengan baik.



GAMBAR 2.1 DIAGRAM ALIR PENELITIAN

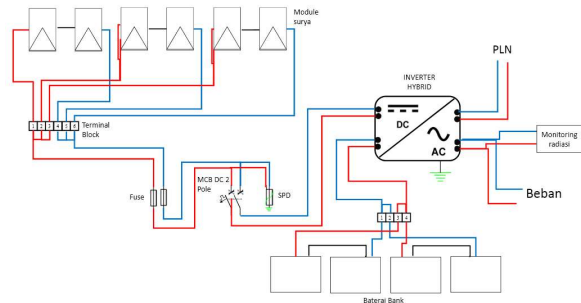
2.2 Sistem Keseluruhan Pembangkit

Secara keseluruhan sistem pembangkit ini terdiri dari tiga pembangkit yaitu pembangkit listrik tenaga piko hidro (PLTPH) tipe vortex dengan daya keluaran 1000 Watt, PLTPH tipe overflow dengan daya keluaran 1000 Watt serta pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) dengan daya keluaran sebesar 600 watt. Berikut merupakan single line keseluruhan pembangkit:



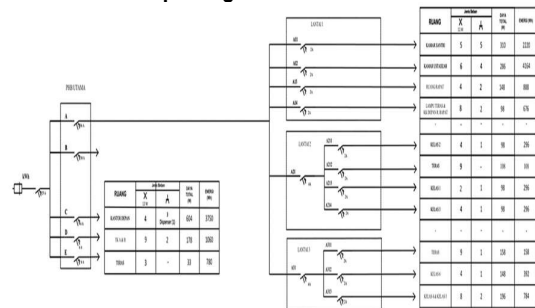
GAMBAR 2.2 SINGLE LINE KESELURUHAN PEMBANGKIT

Pembangkit listrik tenaga surya terdiri dari beberapa komponen yaitu solar panel (photovoltaic), inverter hybrid, monitoring, proteksi dan pembebanan. Panel surya berfungsi sebagai sumber energi. Inverter hybrid yang terdiri dari charge controller yang berfungsi mengatur arus masukan PV menjadi arus yang dibutuhkan untuk mengisi baterai dan inverter, inverter yang berfungsi untuk mengubah tegangan DC menjadi tegangan AC, serta ATS (Automatic Transfer Switch) yang memungkinkan memindah sumber energi dari panel surya menjadi PLN. Monitoring untuk mengetahui radiasi matahari, dan beban yang ada pada PPYD putri Al-Ikhlas. Proteksi dan pembebanan merupakan komponen yang dibutuhkan untuk mengamankan beban. Berikut merupakan single line pembangkit listrik tenaga surya:



GAMBAR 2.2 SINGLE LINE SISTEM PLTS

2.3 Data Beban Terpasang



GAMBAR 2.3 DATA BEBAN DI PPYD AL-IKHLAS

Berdasarkan data yang diperoleh, diketahui bahwa beban yang terpasang pada PPYD Al-Ikhlas, Singosari, Kabupaten Malang sebesar 10.230 Wh. Berdasarkan data beban yang akan disuplai PLTS dengan mempertimbangkan kemampuan biaya, maka keseluruhan beban belum dapat ditanggung oleh baterai.

Oleh karena itu diperlukan adanya pemilihan beban prioritas yang akan disuplai oleh baterai apabila dari ketiga pembangkit terbarukan dan PLN mengalami gangguan. Beban prioritas adalah beban yang tidak atau seminimal mungkin mengalami pemadaman. Berdasarkan wawancara yang telah dilakukan dengan pihak PPYD Al-ikhlas, maka beban prioritas yang dipilih adalah ruangan kamar ustadzah dengan total energi 4164 Wh.

2.4 Perencanaan Kapasitas Baterai

Dalam menghitung kapasitas baterai diperlukan perhitungan arus menggunakan rumus

$$\text{Kapasitas baterai} = \frac{\text{Total Energi (Wh)}}{\text{Tegangan Baterai (V)}} \quad (2-1)$$

Pertimbangan dalam menentukan besarnya kapasitas baterai adalah besarnya arus dan tegangan pada baterai. Sedangkan dalam pemilihan jenis baterai yang digunakan perlu dipertimbangkan DOD dari masing-masing jenis baterai.

Berdasarkan perencanaan beban prioritas dapat diketahui total beban yang akan disuplai adalah 4,164 kWh. Hasil penjumlahan beban tersebut dibulatkan menjadi 4,2 kWh. Selanjutnya dilakukan perhitungan kapasitas baterai berdasarkan rumus Kapasitas baterai =

$$\frac{\text{Total Energi (Wh)}}{\text{Tegangan Baterai (V)}} \quad (2-1):$$

$$\text{Kapasitas Baterai} = \frac{4,2 \text{ kWh}}{24 \text{ volt}} = 175 \text{ Ah}$$

Dalam perhitungan ini DOD baterai menggunakan 100%. Maka dibutuhkan baterai dengan kapasitas 200 Ah. Kapasitas baterai di pasaran adalah 12 volt/100 Ah, jadi jumlah baterai yang dibutuhkan adalah 4 baterai yang disusun 2 seri dan 1 paralel.

2.5 Perencanaan Kapasitas SCC

Data yang dibutuhkan dalam tahap ini diperoleh dari perencanaan panel surya yang telah dilakukan. Diperlukan data spesifikasi panel surya yang meliputi tegangan open circuit dan arus short circuit. Hal ini disebabkan karena tegangan dan arus pada kondisi tersebut adalah tegangan dan arus yang paling besar jika terdapat gangguan pada sistem PLTS.

Panel surya yang digunakan adalah tipe *monocrystalline* dengan tegangan open circuit (V_{oc}) adalah 23 volt untuk setiap PV. Dalam sistem ini PV akan disusun 3 seri dan 2 paralel sehingga V_{oc} total adalah 46 volt. Sedangkan arus short circuit (I_{sc}) setiap PV adalah 6,3 A sehingga besar I_{sc} total adalah 18,9 A.

Setelah melakukan pengumpulan data, selanjutnya dilakukan perencanaan kapasitas *charge controller* yang akan dipakai. Dalam menghitung kapasitas *charge controller* diperlukan perhitungan arus menggunakan rumus $I_{SCC} = I_{sc} \text{ Panel} \times 125\%$, dimana I_{SCC} adalah arus SCC (Ampere), I_{sc} panel adalah arus *short circuit* yang terdapat pada panel surya, dan 125% adalah nilai kompensasi [16]. Berikut merupakan perhitungan kapasitas sebagai pertimbangan pemilihan SCC

$$I_{SCC} = I_{sc} \text{ Panel} \times 125\% \quad (2-2)$$

$$I_{SCC \text{ TOTAL}} = 18,9 \text{ A} \times 125\% = 23,625 \text{ A}$$

$$V_{OC \text{ total}} = 23 \text{ V} \times 2 = 46 \text{ V}$$

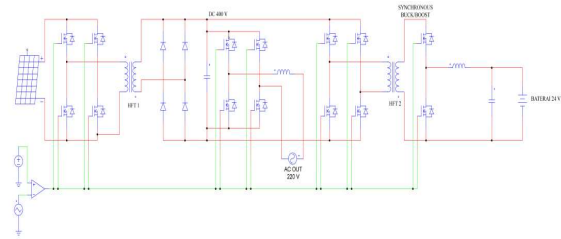
$$I_{SCC} \geq I_{sc} \text{ panel} = 50 \text{ A} \geq 23,625 \text{ A}$$

$$V_{SCC} \geq V_{sc} \text{ panel} = 80 \text{ V} \geq 46 \text{ V}$$

Jadi SCC yang dipilih adalah SCC dengan spesifikasi *charging current max* 50A dengan tegangan open circuit maksimum adalah 80Vdc sesuai dengan ketersediaan di pasaran dan input daya yang terdapat pada spesifikasi SCC.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Desain Sistem Pengisian Baterai



GAMBAR 3.1 RANGKAIAN CHARGE CONTROLLER

Sistem pengisian baterai pada PLTS didesain dengan prinsip kerja yaitu tegangan DC dari input PV diubah menjadi tegangan AC menggunakan rangkaian inverter. Tegangan AC yang dihasilkan kemudian dinaikkan menggunakan high frekuensi transformator (HFT 1). Selanjutnya tegangan disearahkan menggunakan rangkaian dioda bridge yang menghasilkan tegangan DC. Kapasitor diperlukan sebagai filter untuk menekan arus ripple, sehingga dapat dihasilkan tegangan DC yang lurus dengan besar 400 volt. Tegangan DC yang dihasilkan akan menjadi sumber untuk mensuplai beban dan mengisi baterai. Dalam mensuplai beban tegangan DC 400V diubah menjadi tegangan AC melalui rangkaian inverter, sehingga dapat mensuplai beban AC di PPYD Al-Ikhlas. Sedangkan pengisian baterai dilakukan dengan mengubah tegangan DC 400V menjadi tegangan AC. Tegangan AC yang dihasilkan diturunkan menggunakan high frekuensi transformator (HFT 2). Hasil penurunan tegangan AC kemudian disearahkan menjadi tegangan DC. Tegangan DC yang dihasilkan dinaikkan atau diturunkan sesuai kapasitas baterai menggunakan rangkaian buck boost converter.

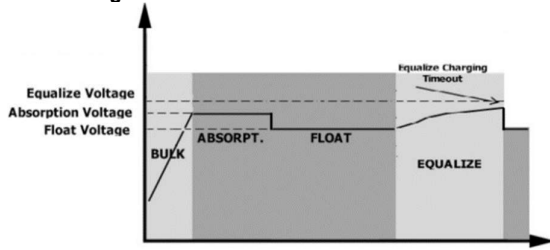


GAMBAR 3.2 RANGKAIAN INVERTER HYBRID

Desain dari *charge controller* ini terdiri dari:

1. MOSFET (*Metal Oxide Semiconductor Field Effect*), berfungsi sebagai saklar elektronik karena Mosfet merupakan salah satu jenis transistor yang memiliki impedansi tinggi sehingga dapat mengendalikan beban dengan arus yang tinggi dan biaya yang lebih rendah.
2. *High Frequency Transformer* (HFT), berfungsi sebagai penaik dan penurun tegangan AC. HFT 1 digunakan untuk menaikkan tegangan menjadi 400 volt, sedangkan HFT 2 digunakan untuk menurunkan tegangan.
3. *Buck Converter*, berfungsi sebagai penurun tegangan DC 400 volt menjadi tegangan DC yang dibutuhkan untuk pengisian baterai.
4. *Boost Converter*, berfungsi sebagai penaik tegangan DC.

3.2 Mode Pengisian Baterai



GAMBAR 3.3 MODE PENGISIAN BATERAI

Sistem pengisian baterai dalam sistem ini menggunakan four stage charging mode yang terdiri dari

1. Fase Bulk, arus akan dipertahankan konstan pada titik maksimumnya (constant current/CC) dalam fase ini. Karena baterai memiliki resistansi dalam, maka tegangan akan semakin meningkat. Tegangan standar pada fase ini berdasarkan spesifikasi baterai adalah 14,4 volt sampai 15 volt, dalam sistem 24V berarti 28,8V sampai 30V.
2. Fase Absorption, tegangan akan dipertahankan konstan (constant voltage/CV) pada fase ini. Karena baterai memiliki resistansi dalam, maka arus akan semakin menurun.
3. Fase Float adalah fase mengambang dimana baterai telah terisi penuh, sehingga arus dan tegangan konstan. Tegangan standar pada fase ini berdasarkan spesifikasi baterai adalah 13,5 volt sampai 13,8 volt, dalam sistem 24V berarti 27V sampai 27,6V.
5. Fase Equalize, digunakan untuk menghindari penumpukan efek kimia negatif seperti suatu kondisi saat konsentrasi asam lebih besar di bagian bawah baterai daripada di bagian atas (stratifikasi). Ekualisasi juga membantu menghilangkan kristal sulfat yang mungkin menumpuk di pelat. Tegangan standar pada fase ini berdasarkan spesifikasi baterai adalah 13,8 volt sampai 14,1 volt, dalam sistem 24V berarti 27,6V sampai 28,2V.

3.3 Penentuan Komponen Panel Surya

Panel surya yang digunakan berjumlah 6 buah dengan susunan tiga seri dan dua paralel. Sehingga besar arus short circuit total adalah 23,625 A, sedangkan tegangan open circuit total adalah 46 volt. Berikut merupakan spesifikasi lengkap panel surya yang digunakan:

TABEL 3.1 SPESIFIKASI PANEL SURYA

Model	SM-100WP+
Daya maksimum (Pmax)	100W
Toleransi	±3%
Tegangan rangkaian terbuka (Voc)	23V
Arus hubung singkat (Isc)	6,3A
Tegangan output maksimum (Vmp)	17V
Arus output maksimum (Imp)	5,8A
Tegangan maksimum dalam rangkaian	750V
Maksimum sekering seri	10A
Kelas aplikasi	A
Nominal suhu operasi	43±2°C
Berat	5,4 kg

Dimensi	450*1160*30 mm
---------	----------------

3.4 Penentuan Komponen Inverter Hybrid

Inverter hybrid yang digunakan memiliki komponen charge controller yang dapat mengatur pengisian baterai. Charge controller yang terintegrasi dengan inverter hybrid memiliki rating arus 50A dengan jenis PWM dan tegangan open circuit panel surya adalah 80V. Rating ini sesuai dengan arus dan tegangan maksimal panel surya, sehingga aman untuk digunakan. Berikut merupakan spesifikasi lengkap inverter hybrid:

TABEL 3.2 SPESIFIKASI INVERTER HYBRID

Dimensi	272 x 200 x 305 mm
Lain-lain	<p>Inverter Mode:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Daya: 3000 VA/2400 W - DC Input: 24 V DC, 100 A - AC Output: 230 V AC, 50 Hz, 13 A <p>AC Charger Mode:</p> <ul style="list-style-type: none"> - AC Input: 230 V AC, 50 Hz, 17.7 A - DC Output: 27 V DC, 30 A/20 A - AC Output: 230 V AC, 50 Hz, 13 A <p>Solar Charge Mode:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Arus: 50 A (PWM) - Voltage System: 24 V DC - Solar Voltage (VOC): 80 V DC <p>Rentang Voltase:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Komputer Pribadi: 170-180 V AC - Peralatan Rumah Tangga: 90-280 V AC <ul style="list-style-type: none"> - Kelembapan: 5% - 95% Kelembapan Relatif (Non-kondensasi) Wave Form: Sine Wave Inverter

Berikut merupakan penjelasan spesifikasi charge controller

1. AC Charger Mode

Mode ini memungkinkan pengisian baterai menggunakan tegangan AC. Pada mode ini tegangan AC input yang dibutuhkan adalah 230 V, frekuensi 50 Hz, dan arus 17,7 A. Tegangan DC output yang dikeluarkan adalah 27 V DC dengan arus 30 A/20 A. Sedangkan tegangan AC output yang dikeluarkan adalah 230 V AC dengan frekuensi 50 Hz dan arus 13 A.

2. Solar Charge Mode

Mode ini memungkinkan pengisian baterai menggunakan tegangan DC yang berasal dari panel surya. Charge controller ini menggunakan tipe PWM (pulse width modulation) dengan arus 50 A, tegangan 24 V DC, dan tegangan open circuit dari panel surya maksimal 80 V DC.

3.5 Penentuan Komponen Baterai

Penentuan baterai yang digunakan didasarkan pada energi besarnya total energi yang dihasilkan oleh pembangkit dan kebutuhan energi beban yang ada di PPYD Al-Ikhlas. Berdasarkan perencanaan didapatkan total energi keseluruhan pembangkit adalah 11,7 kWh, sedangkan kapasitas energi yang dibutuhkan beban yang disuplai adalah 10,23 kWh. Maka dapat diketahui bahwa pembangkit dapat menyuplai keseluruhan beban yang direncanakan.

Namun, dalam penentuan kapasitas baterai ini dipertimbangkan juga terkait kemampuan finansial tim. Oleh karena itu ditentukan beban prioritas untuk menentukan kapasitas baterai yang digunakan. Beban prioritas dalam hal ini diartikan sebagai beban yang akan tetap menyala apabila dari keempat

pembangkit (PLTPH vortex, PLTPH crossflow, PLTS, dan PLN) mengalami gangguan. Beban prioritas pada sistem ini adalah ruangan kamar ustadzah. Pada saat menentukan beban prioritas kami tidak memilih ruangan kantor dikarenakan pekerjaan yang dilakukan di kantor menggunakan laptop atau dengan kata lain tidak menggunakan komputer yang membutuhkan suplai energi listrik terus-menerus. Total kapasitas energi yang dibutuhkan adalah 4,175 kWh. Dengan menggunakan DOD 90%, maka baterai yang dibutuhkan adalah 200 Ah dengan tegangan 24V. Sistem tegangan 24V dipilih karena mempertimbangkan daya beban yang akan disuplai agar besarnya kabel yang dibutuhkan tidak terlampaui besar. Melihat ketersediaan baterai dipasaran, maka dibutuhkan 4 baterai Solana 12 volt 100 Ah dengan susunan 2 seri 1 paralel. Jadi apabila terjadi gangguan pada keempat pembangkit yang menjadi sumber energi, maka baterai akan menjadi sumber energi utama untuk beban ruangan kamar ustadzah dengan kode MCB A12.

3.6 Penentuan Penghantar

Penghantar yang perlu dihitung adalah dari output charge controller inverter hybrid menuju input baterai. Besar arus maksimal pada charge controller adalah 50 A. Jadi perhitungan penghantarnya adalah sebagai berikut

$$I_{cc} = I_n = 50 \text{ A}$$

$$KHA = 1,25 \times I_n$$

$$= 1,25 \times 50 \text{ A}$$

$$= 62,5 \text{ A}$$

Berdasarkan katalog kabel yang ada di pasaran, maka dipilih kabel FRCABLE TUV EN50618 H1Z2Z2-K dengan penampang 2 x 6 mm² dan KHA 70 A. Berikut merupakan katalog kabel yang digunakan.

3.7 Pengujian Pengisian Baterai

TABEL 3.3 PENGUJIAN PENGISIAN BATERAI PUKUL 11.00 WIB – 12.40 WIB

Waktu	Charge Controller					
	Input			Output		
	V _{in} (V)	I _{in} (A)	P _{in} (W)	V _{out} (V)	I _{out} (A)	P _{out} (W)
0	28,04	13,09	364,24	25,07	11,7	278,28
10	28,7	13,02	367,98	26,1	11,6	294,93
20	28,35	12,99	369,23	26,2	11,6	288,2
30	28,49	12,98	364,97	26,3	11,6	297,19
40	28,58	12,96	370,8	26,5	11,6	296,8
50	28,77	12,95	374,59	26,5	11,4	310,05
60	28,86	12,92	377,78	26,6	11,4	308,56
70	28,91	12,91	373,23	26,7	11,3	304,38
80	28,97	12,91	375,16	26,7	11,2	309,72
90	29,03	12,77	374,78	26,8	11,1	305,52
100	29,07	12,8	372,1	26,8	11	310,88
Rata-rata	28,71	12,94	371,35	28,71	11,38	371,35

Dari data diatas dapat diketahui bahwa tegangan output akan terus meningkat terhadap perubahan waktu, hal ini terjadi terus menerus hingga kondisi *full charging*. Sedangkan pada sisi arus output CC cenderung menurun hingga mencapai kondisi *float charge* saat kondisi mendekati *full charge* atau *full charge*.

Dari data diatas juga dapat dilihat bahwa proses *charging* meningkat seiring bertambahnya waktu, untuk arus output *charging* cenderung mengalami penurunan dari menit ke-0 hingga menit terakhir, sedangkan tegangan output (V) cenderung naik. Naiknya tegangan output terjadi seiring dengan naiknya tegangan baterai

(tabel 3.4), ini terjadi dikarenakan *charge controller* mengatur agar tegangan output lebih kecil dari tegangan *input* sehingga terjadi beda potensial yang menyebabkan adanya aliran listrik dari CC ke baterai. Jadi pada proses pengisian baterai ini tegangan dan arus yang masuk ke dalam baterai sesuai dengan spesifikasi yang dibutuhkan baterai. Tegangan maksimal Ketika baterai penuh yaitu 28 V.

TABEL 3.4 DATA EFFISIENSI CC PUKUL 11.00 WIB – 12.40 WIB

Waktu (menit)	Baterai		Efisiensi (%)
	Tegangan (V)	SOC (A)	
0	25,5	75%	76,4
10	25,8	78%	80,15
20	25,9	79%	78,05
30	26,1	80%	81,43
40	26,1	80%	80,04
50	26,3	82%	82,77
60	26,3	82%	81,68
70	26,4	83%	81,55
80	26,4	83%	82,56
90	26,5	85%	81,52
100	26,5	85%	83,55
Rata-rata	28,71	11,38	371,35

Setelah mengetahui parameter input dan output pada saat *charging*, maka data tersebut dapat diolah menjadi daya input dan daya output sehingga dapat diketahui nilai efisiensinya. Perhitungan nilai efisiensi diperoleh dari rumus $Eff = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\%$. Dari data yang diperoleh, dapat diketahui efisiensi rata rata dari charge controller adalah 80,88%. Pada umumnya charge controller tipe PWM memiliki efisiensi 75%-80%. Jadi efisiensi pengisian baterai pada PLTS dianggap baik berdasarkan data.

3.8 Pengujian Pengosongan Baterai

TABEL 4.4 DATA PENGOSONGAN BATERAI PUKUL 17.05 WIB – 18.05 WIB

Waktu	Tegangan Baterai	Inverter					
		Input DC			Output AC		
		V _{in} (V)	I _{in} (A)	P _{in} (W)	V _{out} (V)	I _{out} (A)	P _{out} (W)
17:05	24,7	24,2	45	1089	228	4,09	932,52
17:10	24,5	24,1	45	1084,5	228	4,05	923,4
17:15	24,2	23,9	47	1123,3	228	4,03	918,84
17:20	24,1	23,8	47	1118,6	228	4,19	955,32
17:25	24	23,3	47	1095,1	228	4,19	955,32
17:30	23,9	23,8	35	833	228	3,3	752,4
17:35	23,9	22,7	36	817,2	228	3,4	775,2
17:40	23,8	22,1	48	1060,8	228	4,28	975,84
17:45	23,7	22,1	48	1060,8	228	4,28	975,84
17:50	23,6	22	48	1056	228	4,28	975,84
17:55	23,6	22	48	1056	228	4,27	973,56
18:00	23,3	22,2	48	1065,6	228	4,26	971,28
18:05	23,1	22,1	48	1060,8	228	4,27	973,56

Berdasarkan data dan grafik di atas dapat diketahui bahwa arus keluaran baterai mengikuti kebutuhan besar beban. Apabila beban meningkat, maka arus akan meningkat. Sebaliknya, jika beban menurun, maka arus akan menurun. Pada grafik juga dapat dilihat bahwa tegangan baterai semakin menurun seiring

berjalannya waktu. Hal ini menunjukkan bahwa kapasitas di dalam baterai seiring berjalannya waktu mengalami penurunan. Jadi dari pengujian pengosongan baterai ini dapat dilihat bahwa baterai bekerja dengan baik sesuai dengan kebutuhan beban.

4. Kesimpulan

- 1) Sistem pengisian baterai PLTS ini didesain dalam inverter hybrid yang memiliki sistem charging menggunakan PWM. Prinsip kerja pengisian baterai ini adalah menaikkan tegangan input DC menjadi 400V kemudian menurunkannya menjadi tegangan yang dibutuhkan untuk pengisian baterai. Metode pengisian baterai ini menggunakan four stage charging dengan tegangan standar fase bulk (28,8V-30V), fase absorption 26V, fase float 27V-27,6V, dan fase equalize 27,6V-28,2V.
- 2) Komponen sistem pengisian baterai PLTS terdiri dari panel surya berkapasitas 600 Wp yang dirangkai 3 seri 2 paralel, inverter hybrid berkapasitas 2400 Watt yang dapat melakukan pengisian baterai dengan rating 50A, penghantar arus dengan penampang 2 x 6 mm² dan KHA 70 A FRCABLE TUV EN50618 H1Z2Z2-K. Serta baterai Solana dengan kapasitas 100 Ah/12V sebanyak 4 buah yang dirangkai 2 seri 1 paralel.
- 3) Kinerja sistem pengisian baterai PLTS pada pukul 11.00 WIB – 12.40 WIB memiliki efisiensi rata-rata yang baik yaitu 80,88%. Sedangkan pada pukul 16.00 WIB – 17.00 WIB memiliki efisiensi rata-rata yang baik yaitu 88,73%. Semua komponen bekerja sesuai dengan spesifikasi dan kebutuhan.

Referensi

- [1] L. Adam, "Dinamika Sektor Kelistrikan di Indonesia: Kebutuhan dan Performa Penyediaan," *Ekon. dan Pembang.*, vol. 24, no. 1, pp. 29–41, 2016.
- [2] N. S. Putri, "DAMPAK PEMBANGUNAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA UAP (PLTU) DI GAMPONG SUAK PUNTONG KECAMATAN KUALA PESISIR KABUPATEN NAGAN RAYA," Universitas Islam Negeri Ar-Raniry, 2021.
- [3] Sungkono and Dkk, "Analisis Beban Terhubung Solar Cell Studi Kasus Usaha Kecil Menengah Warung Internet," *Tek. Elektro Politek. Negeri Malang*, vol. 17, no. 2, pp. 135–150, 2019.
- [4] W. Noviandi, A. Hiendro, and Junaidi, "Rancang Bangun Solar Sel Pada Gedung Perkantoran Sebagai Energi Listrik Alternatif (Studi Kasus : Gedung Kantor Dinas Pekerjaan Umum Kabupaten Sintang Provinsi Kalimantan Barat)," *J. Tek. Elektro Univ. Tanjungpura*, no. Vol 1, No 1 (2019): Jurnal S1 Teknik Elektro UNTAN, pp. 1–9, 2019, [Online]. Available: <http://jurnal.untan.ac.id/index.php/jteuntan/article/view/32141>
- [5] A. Fakhri, "PERANCANGAN SISTEM PEMBANGKIT LISTRIK HYBRID TENAGA SURYA DAN PLN," Universitas Muhammadiyah Sumatera Barat, 2022.
- [6] R. Sianipar, "Dasar Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya," vol. 11, no. 2, pp. 61–78, 2014.
- [7] Moch. Rasid Jaelani, Nurul Hiron, and H Abdul Chobir, "Pemodelan PLTS Berbasis Paralel untuk Gedung Aula Pondok Pesantren At-Taufiq Al-Islamy Kota Tasikmalaya," *E-JOINT (Electronica Electr. J. Innov. Technol.*, vol. 3, no. 2, pp. 59–65, 2022, doi: 10.35970/e-joint.v3i2.1670.
- [8] N. Safitri, T. Rihayat, and S. Riskina, *TEKNOLOGI PHOTOVOLTAIC*, no. 1. Banda Aceh: YayasanPuga Aceh Riset Redaksi., 2019.
- [9] Z. Rahmawan, "Estimasi State of Charge (Soc) Pada Baterai Lead-Acid Dengan Menggunakan Metode Coulomb Counting Pada PV Hybrid," Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2018.
- [10] I. Rkik, M. El Khayat, H. Hamidane, A. Ed-Dahhak, M. Guerbaoui, and A. Lachhab, "An intelligent lead-acid battery closed-loop charger using a combined fuzzy controller for PV applications," *E3S Web Conf.*, vol. 297, pp. 1–7, 2021, doi: 10.1051/e3sconf/202129701033.
- [11] C. Confidential, "Charger Basics," 2017.
- [12] M. F. Hakim, "Perancangan Rooftop Off Grid Solar Panel Pada Rumah Tinggal Sebagai Alternatif Sumber Energi Listrik," *J. Din. DotCom*, vol. 8, no. 1, pp. 1–11, 2017.
- [13] Pande Putu Agus Santoso, I. Sanubary, and D. Mahmuda, "Pembuatan Alat Pengering Cocopeat dengan Sistem Hybrid Berbasis Panel Surya," vol. 6, no. 2, pp. 31–41, 2022.
- [14] D. . Hart, *Introduction to Power Electronics*. New York: McGraw-Hill., 2010.
- [15] Adithya Yudha Perdana, "Analisis Efisiensi Solar Charger Controller Tipe PWM DAN MPPT DENGAN METODE SIMULASI Skripsi," *Unnes Repostory*, vol. 18, p. 16, 2020.
- [16] P. . Xiao, W., Dunford, W.G., dan Palmer, "Regulation of Photovoltaic Voltage," *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 54, no. 3, pp. 1365–1374, 2007.
- [17] S. Dwidayanti, R., Gusmedi, H., dan Ratna S, "Optimasi Pengisian Daya Baterai pada Panel Surya Menggunakan Maximum Power Point Tracking (MPPT)," *J. Rekayasa dan Teknol. Elektro*, vol. 11, no. 1, pp. 21– 31, 2017.