

PROTOTIPE SISTEM HYBRID PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA DAN TENAGA AIR SEBAGAI PENGHASIL DAYA LISTRIK BERBASIS INTERNET OF THINGS

Oleh :

Abdul Mufti Andrian, H. Didik Notosudjono², Agustini Rodiah Machdi³

^{1,2,3}Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Pakuan, Jl. Pakuan, RT.02/RW.06, Tegallega, Kecamatan Bogor Tengah, Kota Bogor, Jawa Barat 16129

ABSTRAK

Energi terbarukan dijadikan salah satu alternatif dalam menghasilkan energi listrik untuk memenuhi kebutuhan rumah salah satunya yaitu energi matahari serta energi air, dengan pemanfaatan energi matahari serta energi air yang mampu menghasilkan energi listrik dengan penambahan beban penerangan (lampu) dan menggunakan aplikasi telegram yang berbasis *internet of things*. Pengoperasian alat ini yaitu bertujuan untuk mengontrol pengisian (*charging*) pada baterai dari kedua sumber pembangkit yakni PLTS dan PLTA secara bergantian dengan metode *smart switching* dan penggunaan (*discharging*) pada baterai dengan beban sebuah lampu, yang proses kerjanya menggunakan beberapa komponen seperti panel surya dan generator DC sebagai sumber penghasil energi listrik, pompa air untuk mengisi tank penyimpanan air, sensor ultrasonik untuk monitoring ketinggian air, sensor tegangan untuk monitoring tegangan baterai, sensor arus untuk monitoring arus pada beban, *display* OLED untuk menampilkan nilai tegangan dan nilai arus, serta relay sebagai saklar otomatis dari alat prototipe ini dengan bantuan modul ESP32 yang sekaligus terkoneksi dengan aplikasi telegram. Pengoperasian alat dapat bekerja secara otomatis pada pagi hari hingga pada malam hari. Pada pagi hari pembangkit listrik tenaga surya akan mengisi daya pada baterai kemudian pada malam hari pengisian daya pada baterai akan beralih ke pembangkit listrik tenaga air dan kemudian pada pagi harinya lagi akan beralih ke pembangkit listrik tenaga surya. Pengukuran tegangan yang telah dilakukan pada panel surya serta pada generator, bahwa tegangan rata-rata yang dicapai yakni 21,81 VDC pada panel surya dan tegangan rata-rata yang dicapai generator yakni 21,84 VDC. Tegangan ini bertujuan untuk mengisi tegangan pada baterai sehingga dapat digunakan dalam sistem kerja alat ini.

Kata Kunci : PLTS, PLTA, ESP32, *Internet of things*, Telegram,

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dengan pesatnya perkembangan zaman yang semakin berkembang, sehingga kebutuhan energi semakin meningkat, energi merupakan faktor penting dalam pembangunan suatu negara yang masih bergantung pada energi fosil, khususnya minyak bumi serta batubara. Dengan didesaknya setiap negara agar beralih menuju green energy yang disebabkan iklim global yang sekarang ini sedang kurang menentu. Oleh karena itu pemanfaatan energi yang banyak dikembangkan saat ini adalah energi terbarukan seperti energi matahari, serta air. [1] [2]

Pemanfaatan energi matahari serta energi air banyak sekali diterapkan untuk menghasilkan energi listrik, pemanfaatan yang mengkombinasikan antara dua atau lebih

energi terbarukan jarang sekali dijumpai, seperti energi matahari dengan energi angin, atau energi air dengan energi matahari ataupun energi matahari dengan energi angin serta energi air. [1] [2]

Berdasarkan pengembangan dari penelitian yang telah dilakukan sebelumnya, oleh karena itu dibuatlah sebuah inovasi sistem *hybrid* pembangkit listrik tenaga surya dan tenaga air sebagai penghasil daya listrik. Alat ini bertujuan untuk manajemen energi yang dihasilkan oleh kedua pembangkit dengan metode *smart switching*. Penggabungan PLTS dengan PLTA diharapkan dapat meningkatkan efisiensi dan kestabilan pasokan energi listrik. Selain itu, konsep ini juga akan menerapkan teknologi *internet of things* yang dapat dikontrol dan di monitoring menggunakan *smartphone* yang terhubung dengan jaringan internet dari manapun dan kapanpun

menggunakan aplikasi *Telegram*. IoT memungkinkan pengumpulan data yang akurat dan *real-time* mengenai performa dan keadaan sistem ini, sehingga memungkinkan pengontrolan dan pengelolaan yang lebih efisien. prototipe dari sistem *hybrid* ini akan dikembangkan dan diuji dengan menggunakan sensor-sensor dan perangkat IoT yang sesuai.

Dengan adanya prototipe ini, diharapkan beroperasi secara optimal dan dapat memenuhi kebutuhan energi listrik dengan stabil dan juga dapat memberikan sedikit kontribusi dalam pengembangan energi terbarukan untuk penyimpanan energi.

1.2 Maksud dan Tujuan

Tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini yaitu sebagai berikut:

1. Menghasilkan energi listrik dari aliran air bersekalanya kecil untuk kebutuhan peralatan elektronik rumah.
2. Penggunaan *Internet of Things* pada sistem pengendali dan pemantauan sistem *hybrid solar energy* dan Tenaga Air dilakukan menggunakan telegram sebagai monitoring.
3. Penggunaan sistem *hybrid solar energy* dan Tenaga Air dapat mengurangi pengeluaran kebutuhan primer secara berkepanjangan.

II. TEORI DASAR

2.1 Panel Surya

Panel surya adalah suatu alat yang terbuat dari bahan semikonduktor memiliki ketebalan hanya beberapa mikrometer saja. Panel surya ini dapat secara langsung mengubah energi matahari (*foton*) menjadi energi listrik. Pada saat disinari, satu sel modul surya dapat menghasilkan tegangan DC yaitu sebesar 0,5 volt sampai dengan 2 volt. Untuk mendapatkan nilai tegangan yang diinginkan maka perlu beberapa modul surya yang tersusun secara seri. pada pembangkit listrik bisa dilakukan dengan dua cara, yaitu secara langsung serta tidak langsung. Panel surya menghasilkan arus listrik yang kemudian akan digunakan untuk mengisi daya baterai. Bentuk panel surya dapat dilihat pada gambar 2.1 berikut: [3] [4] [5]



Gambar 2.1 Modul Panel Surya

2.2 Generator DC

Generator DC merupakan mesin listrik yang dapat mengubah energi mekanik menjadi energi listrik. Generator DC memiliki tiga bagian utama yaitu stator, rotor, dan rangka. Pada saat berputar generator akan menghasilkan arus listrik akibat pengaruh dari medan magnet sehingga menimbulkan tegangan induksi. Komutator yang terhubung di ujung belitan akan menyearahkan tegangan bolak-balik sehingga dihasilkan tegangan searah. Gambar 2.2 berikut merupakan bentuk generator DC: [6] [7]



Gambar 2.2 Generator DC

2.3 Baterai

Baterai adalah suatu sel elektrokimia yang mengubah energi kimia yang disimpannya menjadi energi listrik yang dapat digunakan oleh suatu perangkat elektronik. Pada saat pengisian daya (*charging*) pada baterai, energi listrik yang masuk akan dirubah menjadi energi kimia, dan ketika pelepasan (*discharging*) energi kimia yang tersimpan pada baterai diubah kembali menjadi energi listrik. Berikut gambar 2.3 merupakan bentuk baterai: [3] [5] [8]



Gambar 2.3 Baterai VLRA 9Ah

Dalam sehari hari banyak dijumpai berbagai jenis baterai yang dijumpai yakni baterai primer serta baterai sekunder. Baterai sekunder sendiri yaitu baterai yang mampu diisi kembali

(*Rechargeable Battery*) misalnya baterai *smarthpone*, baterai *power bank*. Baterai primer merupakan baterai yang hanya sekali pakai, misalnya baterai jam tangan. [8]

2.4 Solar Charger Controller

Solar Charger Controller adalah suatu komponen yang berada pada sistem pembangkit listrik yang berfungsi untuk mengatur arus listrik yang masuk dari panel surya maupun arus beban yang keluar. Berikut gambar 2.4 bentuk *solar charge controller*: [9]

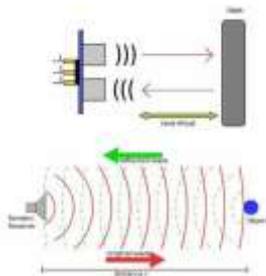


Gambar 2.4 Solar Charge Controller

Alat ini bekerja untuk menjaga baterai dari pengisian yang berlebihan. *Solar Charge Controller* mengatur tagangan dan arus dari panel surya ke baterai. [9]

2.5 Sensor Ultrasonik

Sensor ultrasonik merupakan perangkat elektronik yang memanfaatkan gelombang suara menjadi besaran listrik dan sebaliknya dengan frekuensi di atas 20 kHz. Untuk mendeteksi jarak dan keberadaan objek, gelombang ultrasonik ini dipancarkan oleh bagian pemancar sensor yang kemudian akan diterima oleh bagian penerima sensor setelah memantul kembali dari objek yang ingin dideteksi.



Gambar 2.5 Pancaran Gelombang Ultrasonik

Proses pengukuran jarak dilakukan dengan mengukur waktu yang diperlukan untuk gelombang ultrasonik kembali ke sensor setelah dipancarkan. Sensor ultrasonik dapat menghitung jarak antara dirinya dan objek dengan akurasi yang cukup tinggi. Bentuk sensor ultrasonik dapat dilihat pada gambar 2.6 berikut: [10]



Gambar 2.6 Sensor Ultrasonik

2.6 Inverter

Inverter merupakan alat elektronik yang banyak digunakan untuk mengubah arus DC menjadi arus AC. Dalam pemilihan inverter tergantung pada kebutuhan beban yang digunakan. Terdapat 3 jenis Inverter, yaitu *gridtied*, *gridtied* dengan baterai cadangan, dan *stand alone*. Inverter dengan tipe *gridtied* digunakan dalam sistem pembangkit yang terhubung dengan sistem jaringan utama. Sedangkan inverter *stand alone* atau *off-grid* digunakan pada sistem pembangkit yang berdiri sendiri. [5]

2.7 ESP32 DevKit V1

ESP32 DevKit V1 merupakan salah satu alat *microcontroller* yang diciptakan oleh DOIT untuk mengevaluasi papan ESP-WROOM-32. Papan ini berbasis dari ESP32 yang menawarkan dukungan *Wi-Fi*, *Bluetooth Low Energy* (BLE), internet dan pin berdaya rendah dalam satu chip. ESP32-WROOM-32 merupakan chip yang menargetkan berbagai macam pengaplikasian, mulai dari jaringan sensor berdaya rendah hingga tugas yang paling rumit sekalipun. Chip yang tertanam tersebut didesain untuk dapat terukur dan adaptif. Gambar 2.7 di bawah berikut merupakan ESP32: [5] [11] [12]



Gambar 2.7 ESP32 DevKit V1

Perangkat yang terintegrasi dengan *Bluetooth*, dan *Wi-Fi* ini membuat perangkat dapat digunakan dalam pengoperasian yang luas. Fitur *Wi-Fi* mendukung penggunaan jarak jauh

IV. PENGUJIAN DAN ANALISIS

4.1. Hasil Pengujian Sumber Tegangan Pengisian Baterai oleh Panel Surya

Pengujian ini dilakukan pada sumber tegangan dan arus listrik yang dihasilkan oleh panel surya untuk mengisi daya listrik pada baterai. Dari hasil pengukuran yang telah dilakukan dengan menggunakan Voltmeter yang dimana dilakukan percobaan selama 10 (sepuluh) kali, dengan perharinya dilakukan pengukuran per jam dari waktu 07:00 pagi sampai 18:00 sore. Pengukuran pada pengujian ini memiliki tujuan agar dapat mengetahui kinerja panel surya 10 WP yang akan mengisi baterai jenis VLRA 12VDC 9AH. Berikut hasil dari panel surya yang ditampilkan pada hari pertama.



Gambar 4.1 Garafik Hasil Pengukuran Hari Pertama

Energi yang dihasilkan dari sistem PLTS per harinya yang dilakukan dari pukul 07:00 pagi sampai 18:00 sore untuk mensuplai daya pada baterai, maka rata-rata total energi yang dihasilkan PLTS per harinya ditampilkan di bawah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Daya Total} &= \text{total daya perhari} / \text{total percobaan} \\ &= (101,12 + 78,53 + 86,33 + 97,44 + 67,82 + 92,11 + 83,43 + 89,16 \\ &\quad + 100,09 + 84,58) \div 10 \\ &= 88,061 \text{ Wh} \end{aligned}$$

Sehingga kebutuhan daya yang dihasilkan oleh sistem PLTS selama percobaan mendapatkan besaran daya rata-rata perharinya yakni sebesar 88,061 Wh.

Penting untuk mengetahui jumlah panel surya yang dibutuhkan dalam prototipe sistem *hybrid* Pembangkit Listrik agar daya yang akan dihasilkan oleh panel surya dapat dialokasikan secara optimal ke beban yang digunakan. Jenis yang digunakan yaitu jenis polikristalin dengan spesifikasi panel sebesar 10 WP. Persamaan berikut digunakan untuk menentukan jumlah panel surya yang akan digunakan:

$$\begin{aligned} \text{Lama waktu radiasi } (t_r) &= \frac{\text{radiasi total harian } \left(\frac{\text{Wh}}{\text{m}^2}\right)}{\text{intensitas radiasi modul surya } \left(\frac{\text{W}}{\text{m}^2}\right)} \\ \text{Lama waktu radiasi } (t_r) &= \frac{47,6 \left(\frac{\text{Wh}}{\text{m}^2}\right)}{1000 \left(\frac{\text{W}}{\text{m}^2}\right)} \end{aligned}$$

$$\text{Lama waktu radiasi } (t_r) = 4,76 \text{ jam, setiap harinya}$$

Untuk memenuhi kebutuhan daya yang digunakan, perlu untuk menentukan jumlah panel surya yang dibutuhkan, dari informasi spesifikasi modul panel surya yang menunjukkan kemampuan dalam menyediakan pasokan energi listrik secara seimbang. Perhitungan berikut mengetahui jumlah daya listrik yang dihasilkan perharinya:

$$E_{\text{modul}} = P_N \times t_r$$

$$E_{\text{modul}} = 10 \text{ Wp} \times 4,76 \text{ jam}$$

$$E_{\text{modul}} = 47,6 \text{ Wh perharinya}$$

Dengan diasumsikan bahwa waktu yang dibutuhkan sistem untuk mengisi ulang baterai adalah satu hari, sehingga untuk menghitung jumlah modul panel surya yang diperlukan untuk memenuhi kebutuhan beban sebesar 36 Wh dengan waktu otonomi selama 2 hari.

$$\text{Jumlah modul } (N) = \frac{E_{\text{total}} \times t_{\text{otonomi}}}{E_{\text{modul}} \times t_{\text{regenerasi}}}$$

$$\text{Jumlah modul } (N) = \frac{36 \times 48 \text{ jam}}{47,6 \times 24 \text{ jam}}$$

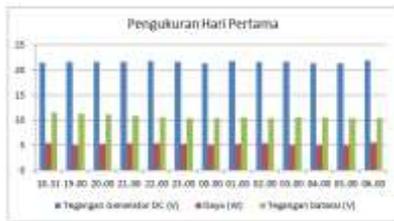
$$\text{Jumlah modul } (N) = 1,51 = (2) \text{ unit}$$

Berdasarkan dari perhitungan di atas maka jumlah yang dibutuhkan sebanyak 2 modul panel surya untuk memenuhi kebutuhan dari prototipe ini dengan kapasitas penggunaan panel surya 10 WP.

4.2. Hasil Pengujian Sumber Tegangan Pengisian Baterai oleh Generator DC

Pengujian ini dilakukan pada sumber tegangan dan arus listrik yang dihasilkan oleh generator DC untuk mengisi daya listrik pada baterai. Dari hasil pengukuran yang telah dilakukan dengan menggunakan alat voltmeter dengan 10 (sepuluh) kali percobaan, dengan dilakukan pengukuran per jam dari waktu dimulainya tegangan baterai di bawah sama dengan 11,60 Volt sampai pukul 07:00 pagi. Pengukuran pada pengujian ini memiliki tujuan agar dapat mengetahui kinerja dari generator DC serta meminimalkan penurunan daya pada baterai

yang akan mengisi baterai jenis VLRA 12VDC 9AH.



Gambar 4.2 Garafik Hasil Pengukuran Hari Pertama

Energi yang dihasilkan dari sistem PLTA per harinya yang baru mulai bekerja dari (berdasarkan pada presetasi baterai ketika tegangan baterai berada di bawah 11,60 volt) malam sampai 07:00 pagi untuk mensuplai daya pada baterai, maka rata-rata total energi yang dihasilkan oleh PLTA dapat dilihat pada perhitungan di bawah sebagai berikut

$$\begin{aligned} \text{Daya Total} &= \text{total daya perhari} / \text{total percobaan} \\ &= (68,06 + 67,88 + 67,79 + 68,35 + 68,12 + 68,12 + 68,6 + 68,9 + \\ &\quad 68,38 + 69,22) : 10 \\ &= 68,344 \text{ Wh} \end{aligned}$$

Sehingga kebutuhan daya yang dihasilkan oleh sistem PLTA oleh generator pada selama percobaan mendapatkan besaran daya rata-rata perharinya yakni sebesar 68,344 Wh.

Kebutuhan dalam memenuhi daya yang digunakan dalam prototipe sistem *hybrid* pembangkit Listrik agar daya yang dihasilkan oleh generator DC dapat dialokasikan secara optimal ke beban yang digunakan. Dengan menggunakan generator DC dengan daya 30W, dengan waktu kerja selama 12jam perharinya, sehingga perhitungan jumlah unit generator DC yang dibutuhkan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} E_{gen} &= P_w \times t_r \\ E_{gen} &= 30 \text{ W} \times 12 \text{ jam} \\ E_{gen} &= 360 \text{ Wh perhariannya} \end{aligned}$$

Dengan waktu yang dibutuhkan untuk meregenerasi daya pada baterai yaitu satu hari, sehingga banyaknya modul yang harus digunakan untuk kebutuhan beban 36 Wh perharinya dengan lama waktu otonomi selama 2 hari.

$$\begin{aligned} \text{jumlah generator (N)} &= \frac{E_{total} \times \text{kegunaan}}{E_{gen} \times \text{kegunaan}} \\ \text{jumlah generator (N)} &= \frac{30 \times 12 \text{ jam}}{360 \times 24 \text{ jam}} \\ \text{jumlah generator (N)} &= 0,2 = (1) \text{ unit} \end{aligned}$$

Sehingga untuk memenuhi kebutuhan total beban yang terpasang maka generator DC

dengan kapasitas 30W yang dibutuhkan untuk mensuplai beban harian dengan waktu otonomi selama 48 jam yang diterapkan pada sistem *hybrid* membutuhkan sebanyak 1 buah unit yang harus digunakan agar dapat memenuhi kebutuhan total baban harian.

4.3. Pengujian dan Analisis Sumber Tegangan

Pada pengujian sumber tegangan melibatkan pemeriksaan secara menyeluruh terhadap berbagai komponen sumber tegangan diantaranya baterai, pin 3v3 dan pin 5v pada ESP32, pompa air, relay, lampu, inverter, untuk memastikan keandalan dan konsistensi tegangan yang disediakan oleh masing-masing sumber daya. Tabel 4.1 di bawah ini menunjukkan hasil pengujian yang telah dilakukan pada sumber tegangan yaitu sebagai berikut:

Tabel 4.1 Pengujian Sumber Tegangan ESP23, Pompa Air dan Relay

pengukuran	Perangkat					
	ESP32		Pompa Air		Relay	
	Pin 3v3	Pin 5v	ON	OFF	ON	OFF
1	3,32	4,49	11,63	0	4,47	4,49
2	3,31	4,50	11,63	0	4,47	4,50
3	3,38	4,49	11,63	0	4,47	4,50
4	3,36	4,49	11,63	0	4,47	4,49
5	3,32	4,50	11,63	0	4,47	4,49
6	3,39	4,50	11,63	0	4,47	4,50
7	3,35	4,49	11,63	0	4,47	4,50
8	3,31	4,50	11,63	0	4,47	4,50
9	3,33	4,50	11,63	0	4,47	4,50
10	3,34	4,49	11,63	0	4,47	4,49
rata-rata	3,34	4,49	11,63	0	4,47	4,50

Pada tabel 4.1 di atas menunjukkan nilai tegangan dari setiap komponen yang telah diukur sebanyak 10 kali pengukuran, Alat yang digunakan yaitu voltmeter. Tegangan pin 3v3 pada ESP32 sekitar 3,34V, tegangan pin 5v pada ESP32 sekitar 4,49V. Dari hasil pengujian pada pompa air ketika dalam kondisi off atau ketika motor tidak bekerja dan menunjukkan pembacaan dengan 0VDC karena pompa air tersebut tidak terhubung dengan sumber tegangan listrik, pompa air ini akan bekerja jika tegangan minimumnya adalah 12 VDC. Sedangkan pada pengujian pada pompa air ketika dalam kondisi on atau ketika motor bekerja dan menunjukkan pembacaan yaitu menunjukkan nilai rata-rata 11,63 VDC. Dari hasil pengujian pada *relay* dimana kondisi *relay off*, tegangan yang terbaca pada saat kondisi tanpa beban menunjukkan rata-rata 4,50 VDC. Sedangkan pada saat kondisi *relay on*

memiliki rata-rata sebesar 4,47 VDC, perubahan ini disebabkan kondisi *relay* terpasang ke beban yang tersambung langsung dengan *relay*. Adapun tabel 4.2 di bawah ini menunjukkan hasil pengujian yang telah dilakukan pada lampu serta inverter.

Tabel 4.2 Pengujian Sumber Tegangan Lampu dan Inverter.

pengukuran	Perangkat			
	Lampu (VAC)		Inverter (VAC)	
	ON	OFF	Dengan Beban	Tanpa Beban
1	241,5	0	241,5	260,4
2	241,6	0	241,6	259,8
3	240,9	0	240,9	259,3
4	240,8	0	240,8	260,3
5	241,3	0	241,3	259,7
6	241,1	0	241,1	259,5
7	240,7	0	240,7	260,2
8	240,9	0	240,9	260,3
9	241,6	0	240,2	260,4
10	241,2	0	240,1	259,8
rata-rata	241,43	0	241,18	260,51

Dari hasil pengujian pada tabel 4.2 di atas menunjukkan pengukuran tegangan pada lampu dengan kondisi beban nyala dan beban off. Pada saat kondisi tanpa beban atau tidak menyala besaran tagangan menunjukkan besaran 0 VAC, sedangkan pada saat dengan beban menyala nilai tegangan yang diukur menunjukan besaran 241 VAC. Dari hasil pengujian pada inverter, dilakukan pengukuran tegangan pada kondisi dengan beban dan tanpa beban. Pada saat kondisi tanpa beban atau tidak menyala besaran tagangan menunjukkan besaran 260 VAC, sedangkan pada saat dengan beban menyala nilai tegangan yang diukur menunjukan besaran 241 VAC.

4.4. Data Perhitungan Kapasitas, Durasi Pengisian Serta Pemakaian Baterai

Perhitungan energi daya listrik yang diteliti dan menentukan kebutuhan daya yang bertujuan untuk memastikan pasokan energi yang tepat sesuai dengan variasi beban konsumsi pada sistem *hybrid*. Data beban yang terukur selama pengujian dengan beban yang terpasang yaitu sebuah lampu 3 watt selama pemakaian kerja 12 jam per harinya.

Untuk mengetahui berapa kapasitas baterai yang akan digunakan untuk menghidupkan beban yang terpasang dengan penggunaan beban total kebutuhan energi sebesar 36 Wh, maka perlu mencari muatan baterai dengan menggunakan persamaan berikut:

$$Q_{\text{baterai}} = \frac{\text{Energi}}{V_{\text{op}} (\text{nominal baterai})}$$

$$Q_{\text{baterai}} = \frac{36 \text{ Wh}}{12 \text{ V}}$$

$$Q_{\text{baterai}} = 3 \text{ Ah}$$

Dari hasil perhitungan di atas, diperoleh kapasitas muatan baterai sebesar 3 Ah, dengan mempertimbangkan juga waktu otonomi selama 2 hari. Pada saat menentukan kapasitas baterai, perencanaan dan pertimbangan terhadap waktu otonomi menjadi penting. Namun, baterai tidak dibiarkan kosong hingga habis 100%, dan tingkat pengurusan baterai, dikenal sebagai Deep Of Discharge (DOD), umumnya diatur pada 80%. Pendekatan ini diadopsi untuk mencegah kerusakan pada baterai yang berpotensi mengurangi umur pakainya secara keseluruhan. Persamaan berikut dapat digunakan untuk menentukan kapasitas baterai yang akan digunakan:

$$\text{Kapasitas (Ah)} = Q_{\text{baterai}} \frac{t \text{ otonomi}}{\text{tingkat pengosongan}}$$

$$\text{Kapasitas (Ah)} = 3 \text{ Ah} \frac{2}{0,80}$$

$$\text{Kapasitas (Ah)} = 7,5 \text{ Ah}$$

Berdasarkan evaluasi beban yang diperlukan dalam perangkat ini yang dibutuhkan baterai untuk mensuplai beban sebesar 36 watt dengan memperkirakan waktu otonomi selama 2 hari. Oleh karena itu, baterai yang cocok untuk kebutuhan tersebut adalah baterai dengan besaran kapasitas sebesar 7,5 Ah 12 Volt DC

Waktu yang diperlukan untuk mengisi baterai dipengaruhi oleh beberapa faktor, termasuk kapasitas baterai yang digunakan. Dengan menggunakan baterai berkapasitas 9 Ah, serta mempertimbangkan efisiensi sebesar 80% dan spesifikasi panel surya yang mampu menghasilkan arus maksimum 0,58 A, estimasi waktu yang dibutuhkan untuk mengisi baterai dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$\text{Estimasi Waktu Charge} = \frac{\text{Kapasitas baterai}}{\text{Efisiensi} \times \text{Arus panel surya}}$$

$$\begin{aligned} \text{Estimasi Waktu Charge} &= \frac{9 \text{ Ah}}{80\% \times 0,58 \text{ A}} \\ &= 19,39 \text{ Jam} \end{aligned}$$

Diperlukan waktu sekitar 19 jam untuk mengisi daya pada baterai yang memiliki kapasitas sebesar 9 Ah saat panel surya menghasilkan daya pada tingkat maksimumnya.

Baterai digunakan untuk menyediakan energi kepada beban, yang artinya seiring berjalannya waktu, daya pada baterai akan terkuras habis. Untuk menghitung estimasi waktu yang diperlukan untuk menghidupkan beban dari keadaan baterai penuh hingga kosong, dapat menggunakan persamaan berikut:

$$\text{Estimasi Waktu Discharge} = \frac{\text{Kapasitas baterai} \times \text{Tegangan baterai}}{\text{Efisiensi} \times \text{Total beban}}$$

$$\text{Estimasi Waktu Discharge} = \frac{9 \text{ Ah} \times 12 \text{ V}}{80\% \times 3 \text{ W}}$$

$$= 45 \text{ jam}$$

Berdasarkan hasil perhitungan dari evaluasi yang telah dilakukan, bahwa dengan menggunakan baterai dengan besaran kapasitas sebesar 9 Ah 12 VDC yang dipasang dengan total beban sebesar 3 watt, mampu memberikan daya selama sekitar 45 jam, mulai dari kondisi terisi penuh hingga baterai habis.

4.5. Pengujian Keseluruhan

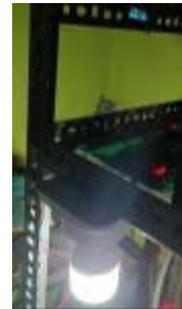
Pada pengujian dilakukan secara keseluruhan, pengujian dimulai dari meletakkan alate diluar ruangan agar panel surya mengisi daya pada baterai, ketika alat dihidupkan tegangan akan mengalir menuju ESP32 kemudian akan terhubung dengan *internet* yang bersumber dari *WiFi smarthphone* yang telah terkoneksi dengan aplikasi *Telegram*. Kemudian kondisi awal pengujian ini yaitu pada saat waktu menunjukkan pukul 07.00 pagi, saat kondisi ini relay dalam kondisi pengisian dengan bersumber dari panel surya serta menghidupkan pompa air untuk mengisi tank penyimpanan air hingga penuh.



Gambar 4.3 Pengisian Tank Air

Kondisi selanjutnya adalah pada waktu sore hari ketika menunjukan waktu 18:00, maka pada saat memasuki waktu tersebut akan akan mengaktifkan relay yang berfungsi untuk mengalihkan sumber pengisian pada baterai yang bersumber dari panel surya beralih ke

sumber pengisian dengan sistem Tenaga Air yang dimana sistem Tenaga Air akan menyala, sekaligus akan mengaktifkan beban lampu dengan daya sebesar 3 watt.

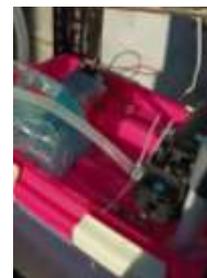


Gambar 4.4 Lampu Menyala pada Malam Hari

Pada saat kondisi tegangan baterai telah mencapai batas minimum yang telah ditentukan sehingga pada saat kondisi ini akan mengaktifkan sistem Tenaga Air yang dimana sumber air yang berasal dari tank penyimpanan air akan mengalir kebawah yang kemudian digunakan untuk menggerakkan generator DC sehingga akan menghasilkan daya listrik yang selanjutnya akan mengisi daya pada beteraai.

Kemudian kondisi pada saat memasuki waktu 06:00 pagi, keadaan tersebut adalah kondisi dimana akan memindahkan kondisi yang ada pada relay yang terhubung pada beban lampu yang menyala akan memadamkan lampu secara otomatis.

Kondisi selanjutnya yaitu pada waktu 07:00 pagi, akan mengaktifkan relay yang berfungsi untuk mengalihkan sumber pengisian pada baterai yang bersumber dari sistem Tenaga Air beralih kembali ke sumber pengisian dengan panel surya yang dimana akan mengisi daya pada baterai, pada saat kondisi ini juga akan menghidupkan pompa air yang akan mengisi kembali air pada tank penyimpanan air yang telah terpakai sebelumnya.



Gambar 4.5 Perpindahan dari sistem PLTA ke sistem PLTS

Kondisi serupa akan terus terulang setiap harinya pada sistem prototipe ini. Nilai tegangan pada baterai akan ditampilkan pada display OLED dan serta dapat dimonitoring melalui smartphone dengan aplikasi telegram.

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

4.1. Kesimpulan

Dari hasil pengujian yang telah dilakukan pada alat yang telah diuji pada BAB IV, sehingga mendapat kesimpulan dari data-data yang telah diambil yaitu sebagai berikut:

1. Pengukuran yang dilakukan pada panel surya 10WP mendapatkan hasil tegangan sebesar 21,81 VDC dan nilai arus yang dihasilkan sebesar 0,61 ampere yang kemudian akan digunakan untuk mengisi daya pada baterai.
2. Pengukuran yang dilakukan pada generator DC mendapatkan hasil tegangan sebesar 21,84 VDC dan nilai arus yang dihasilkan sebesar 0,25 Ampere yang kemudian akan digunakan untuk mengisi daya pada baterai.
3. Hasil yang didapatkan dari pengukuran bersaran nilai tegangan pada inverter dengan beban yang terpasang yakni sebesar 241,18 VAC dan nilai tegangan tanpa beban adalah 260,51 VAC.
4. Tegangan pada ESP32 yang digunakan untuk menyalakan komponen mendapat nilai tegangan rata-rata 4,49 VDC pada pin 5V serta pada pi 3v3 didapat nilai tegangan sebesar 3,34 VDC. Pengukuran pada modul *Step down* mendapat nilai tegangan rata-rata 4,50 VDC yang kemudian digunakan untuk menyalakan *relay*.
5. Penggunaan baterai yang dihubungkan dengan *inverter* untuk kebutuhan daya sebesar 3 watt dengan lama waktu berkisar 45 jam dari kondisi baterai terisi penuh sampai baterai tidak dapat mensuplai daya listrik.
6. Energi yang dihasilkan oleh sistem PLTS selama percobaan mendapatkan besaran daya rata-rata perharinya yakni sebesar 88,061 Wh.
7. Energi yang dihasilkan oleh sistem PLTA selama percobaan mendapatkan besaran daya rata-rata perharinya yakni sebesar 68,344 Wh.

8. Dalam pengujian yang telah dilakukan bahwa daya yang dibangkitkan oleh sistem *hybrid* dapat mencukupi kebutuhan beban dengan total daya sebesar 36 Wh.

4.2 Saran

Dari hasil pengujian yang telah dilakukan pada alat prototipe ini terdapat sebuah kendala sehingga perlu menggunakan alat bantu lagi untuk memudahkan turbin air berputar. Hal ini dapat di atasi dengan meninggikan tempat penyimpanan air agar laju tekanan serta aliran air semakin meningkat serta memperbesar ukuran dari pipa air dari penyimpanan air menuju ke turbin air. Sehingga turbin air adapat mudah berputar serta menghasilkan daya listrik secara optimal.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] D. Notosudjono, "Renewable Energy Development Strategy" In The Asian Alumni Workshop "Resilient Energy Systems", Unpak Press, 2016.
- [2] D. Notosudjono dan F. Adzikri, Teknologi Energi Teerbarukan, Bogor: Unpak Press, 2018.
- [3] M. R. Giri, D. Notosudjono dan A. R. Machdi, "Rancang Bangun Taman Pintar Perlindungan Panas Dan Hujan Berbasis Interet Of Things," 2022.
- [4] N. Safitri, T. Rihayat dan S. Riskina, Buku Teknologi Photovoltaic, vol. I, Aceh: Yayasan Puga Aceh Riset, 2019.
- [5] I. N. Arif, D. Notosudjono dan A. R. Machdi, "Prototype Sistem Kontrol Otomatis Charging Dan Discharging Dua Baterai Pembangkit Listrik," 2021.
- [6] circuitglobe, "Types of DC Generator – Separately Excited and Self Excited," [Online]. Available: <https://circuitglobe.com/construction-of-dc-generator.html>. [Diakses 01 02 2024].
- [7] A. B. Pulungan, J. Sardi dan H. , "Pemasangan Sistem Hybrid Sebagai

- Penggerak Pompa Air,” *Jurnal Teknik Elektro dan Vokasional*, vol. 5, 2019.
- [8] Albert, “Memilih Jenis-Jenis Baterai,” 13 03 2017. [Online]. Available: <https://www.royalpv.com/tips-memilih-baterai-panel-surya/>. [Diakses 30 01 2024].
- [9] Janaloka, “Fungsi Solar Charger Controller pada Sistem Panel,” 2017. [Online]. Available: <https://janaloka.com/fungsi-solar-charger-controller-pada-sistem>. [Diakses 16 10 2022].
- [10] Lastminuteengineers, “How Hc-SR4 Ultrasonic Sensor Works & Intervace It With Arduino,” 2020. [Online]. Available: <https://lastminuteengineers.com/arduino-sr04-ultrasonic-sensor-tutorial/>. [Diakses 19 11 2021].
- [11] Lastminuteengineers, “ESP32 Pinout Reference,” [Online]. Available: <https://lastminuteengineers.com/esp32-pinout-reference/>. [Diakses 21 11 2021].
- [12] M. A. Ashari dan L. Lidyawati, “IoT Berbasis Sistem Smart Home Menggunakan Nodemcu V3,” *Jurnal Kajian Teknik Elektro UTA*, vol. 03, pp. 138-149, 2019.
- [13] F. S. Wicaksono dan S. Winardi, “Rancang Bangun Control Otomatis Solar Cell Berbasis Arduino Uno Dengan Penampil Tegangan Accumulator”.
- [14] S. Holombacka, A. Kareem dan O. , “Energy Storage Utilizing Hydro Pump and Battery Technologies,” 2012.
- [15] W. A. Djam’an, D. Notosudjono dan A. R. Machdi, “Rancang Bangun Hybrid Smart Turbin Home System Off Grid Dan Jaringan Listrik Pln Berbasis,” 2022.
- [16] Y. A. Prawira, D. Notosudjono dan A. R. Machdi, “PEMANFAATAN PEMBANGKIT LISTRIK DC SEBAGAI SUMBER LISTRIK DI DESA KOPO KEC.CISARUA DENGAN PENGENDALIAN LAMPU VIA TELEGRAM,” 2022.
- [17] M. Simao dan H. M. Ramos, “Hybrid Pumped Hydro Storage Energy Solutions Toward Wind and PV Integration,” 2020. [Online]. Available: https://www.researchgate.net/publication/344049522_Hybrid_Pumped_Hydro_Storage_Energy_Solutions_towards_Wind_and_PV_Integration_Improvement_on_Flexibility_Reliability_and_Energy_Costs. [Diakses 21 12 2023].

PENULIS



¹⁾ **Abdul Mufti Andrian, S.T.** Alumni (2024) Program Studi Teknik Elektro - Fakultas Teknik - Universitas Pakuan Bogor. Email: abdulmuftikuandrian@gmail.com

²⁾ **Prof.Dr.Ir.H. Didik Notosudjono, M.Sc. IPU.ASEAN.Eng.APEC.Eng** Dosen Pembimbing 1 Program Studi Elektro – Fakultas Teknik – Universitas Pakuan Bogor.

³⁾ **Agustini Rodiah Machdi, S.T., M.T.** Dosen Pembimbing II Program Studi Elektro – Fakultas Teknik – Universitas Pakuan Bogor