

Implementasi dan Optimalisasi Solar PV sebagai Sumber Tenaga Listrik untuk Memenuhi Beban Elektronik di Kampung Oase Ondomohen Surabaya

Moch. Fikry Fathul Yaqin ¹, Isa Hafidz ^{2*}, dan Lora Khaula Amifia ^{3*}

^{1,2,3}Program Studi Teknik Elektro, Institut Teknologi Telkom Surabaya, Surabaya, Indonesia

* Korespondensi: isa@ittelkom-sby.ac.id dan loraamifia@ittelkom-sby.ac.id

Abstrak: Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) memiliki konsep yang sederhana yaitu mengubah cahaya matahari menjadi energi listrik yang mana cahaya matahari adalah salah satu bentuk energi yang memiliki sifat renewable energy. Pada kampung oase sendiri PLTS dimanfaatkan untuk sumber tenaga listrik pompa air untuk mengaliri pipa hidroponik dan kolam ikan. Akan tetapi, Solar PV yang mereka miliki sudah tidak dapat difungsikan lagi. Penyebab kerusakan solar PV ini kemungkinan disebabkan oleh desain dan instalasi photovoltaic yang tidak sesuai dengan kebutuhan beban alat elektronik yang digunakan. Sehingga dilakukan penelitian untuk merancang dan mengoptimalkan solar PV sebagai sumber pembangkit listrik yang akan digunakan untuk menjalankan pompa air hidroponik. Pengamatan dan pengujian yang dilakukan adalah pengambilan data terkait hasil keluaran solar PV dan kualitas daya listrik yaitu analisis pada drop tegangan di kampung oase ondomohen. Alat ukur yang digunakan berupa multimeter dan energy meter untuk mengukur dan memonitoring hasil keluaran pompa air bertenaga PLTS yang bersistem internet of things. IoT yang digunakan berupa mikrokontroler Esp8266 dengan aplikasi Blynk Iot. Dengan dibangunnya Solar photovoltaic beserta pengembangan teknologinya ini menunjukkan hasil bahwa solar PV layak digunakan sebagai renewable energy untuk memenuhi kebutuhan beban pompa air dan dapat meningkatkan kembali produktivitas masyarakat sehari-hari, yaitu utamanya untuk mendukung budidaya ikan dan tanaman tanpa menggunakan media tanah atau hidroponik. Penggunaan analisis ekonomis menunjukkan pengembalian biaya investasi selama 19.6 tahun pemakaian.

Kata Kunci: Irradiansi Matahari; Kampung Oase Ondomohen; Pompa Air; Renewable Energy; Solar PV

1. Pendahuluan

Potensi energi terbarukan Nasional untuk dikonversi menjadi listrik mencapai 422 sampai 500 GW, sekitar 7 sampai 8 kali dari total kapasitas pembangkit terpasang saat ini. Pemerintah menargetkan bauran energi penggunaan energi baru dan terbarukan sebesar 23% pada tahun 2025 dapat direalisasikan [1]. Mengingat fakta dari energi matahari yang tidak akan habis ketersediannya. Energi ini memiliki peran penting yang bebas emisi karbon untuk menghasilkan energi listrik menggunakan teknologi photovoltaic. Mengingat pengurangan emisi gas rumah kaca merupakan upaya yang perlu kita lakukan untuk mencegah perubahan iklim dan menjaga laju pemanasan bumi tetap berada di bawah 1.5 derajat celcius [2]. Indonesia telah memasang target untuk mengurangi emisi gas rumah kaca sebesar 29% melalui usaha sendiri dan 41% melalui bantuan Internasional serta berkomitmen untuk mencapai net zero emission pada 2060 [3].

Pada kampung oase sendiri solar PV dimanfaatkan untuk sumber tenaga listrik pompa air untuk mengaliri pipa hidroponik dan kolam ikan. Akan tetapi, Solar PV yang mereka miliki sudah tidak dapat difungsikan lagi. Penyebab kerusakan solar PV ini kemungkinan disebabkan oleh desain

dan instalasi photovoltaic yang tidak sesuai dengan kebutuhan beban alat elektronik yang digunakan, Sehingga dibutuhkan desain dan instalasi terbaru yang dapat menyesuaikan dengan beban penggunaan listrik dari photovoltaic. Dampak dari kerusakan solar PV yang ada tersebut menyebabkan kualitas air tidak stabil atau berubah-ubah maka dapat berdampak buruk terhadap ikan yang dibudidayakan, akibatnya ikan dapat stress, sakit bahkan mati bila tidak mampu bertoleransi terhadap perubahan lingkungan. Tak hanya itu, dampak buruk lainnya adalah warga kampung oase ondomohen harus memproses secara manual tanaman-tanaman urban farming yang telah menjadi sumber mata pencaharian mereka. Hal ini tentunya mengakibatkan penurunan hasil pertanian tanpa media tanah atau hidroponik mereka mengingat estimasi waktu dalam proses pertumbuhan tanamannya tidak seefektif ketika masih menggunakan PLTS.

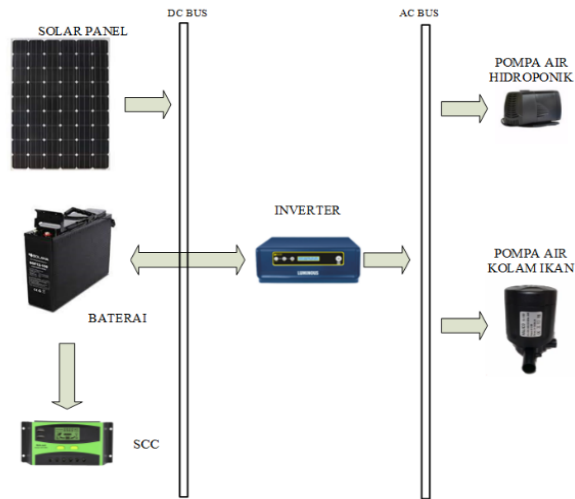
Penelitian ini menggunakan penelitian sebelumnya sebagai acuan dan melakukan pengembangan dari penelitian tersebut. Pada tahun 2018 dilakukan penelitian oleh Mardiyono, Sugeng Ariyono, Endro Wasito, dan Slamet Handoko yang meneliti sistem hidroponik yang dikembangkan berbentuk media tanam secara horisontal dan vertikal dengan PLTS berkonfigurasi *hybrid* dengan PLN [4]. Pada penelitian lainnya oleh Poppy Honora yang menggunakan dua jenis solar PV yang berbeda yaitu jenis *polycrystalline* dan *monocrystalline* untuk menyalakan beban pompa air [5]. Dalam penelitian yang dilakukan oleh Ali Basrah Pulungan, Juli Sardi, Hamdani, dan Hastuti menggunakan *Dual Power Automatic Transfer Switch (ATS)* untuk sistem *hybrid* pada PLTS dengan pembebanan pompa airnya [6]. Lalu, penelitian lain yang berfokus pada respons sistem PLTS terhadap *setting point* yang dilakukan oleh Luthfansyah Mohammad dkk [7]. Maka dari itu untuk keterbaruan yang akan digunakan pada paper ini ialah penggunaan monitoring energi listrik pada pompa air bertenaga PLTS ini yang berbasis Internet of Things. Alasan penggunaan IoT dalam sistem monitoring ini adalah agar memberikan efisiensi dalam mengetahui parameter listrik yang dihasilkan serta mengetahui seberapa besar losses yang terjadi pada beban elektronik.

Pada paper ini bertujuan untuk memberikan desain sistem dan instalasi PLTS dengan mempertimbangkan kebutuhan daya listrik untuk pompa air serta memonitoring kualitas daya listrik pada beban elektronik guna mengurangi resiko terjadinya drop tegangan dan pemadaman listrik akibatnya penggunaan beban berlebih yang dapat mempercepat kerusakan pada jaringan sistem PLTS. Selain itu, untuk mengetahui biaya penggunaan listrik serta carbon pricing pada pemasangan solar PV sebagai renewable energy beserta seberapa lama balik modal yang didapatkan dengan total biaya investasi yang telah dikeluarkan.

2. Metode

2.2. Konfigurasi Sistem

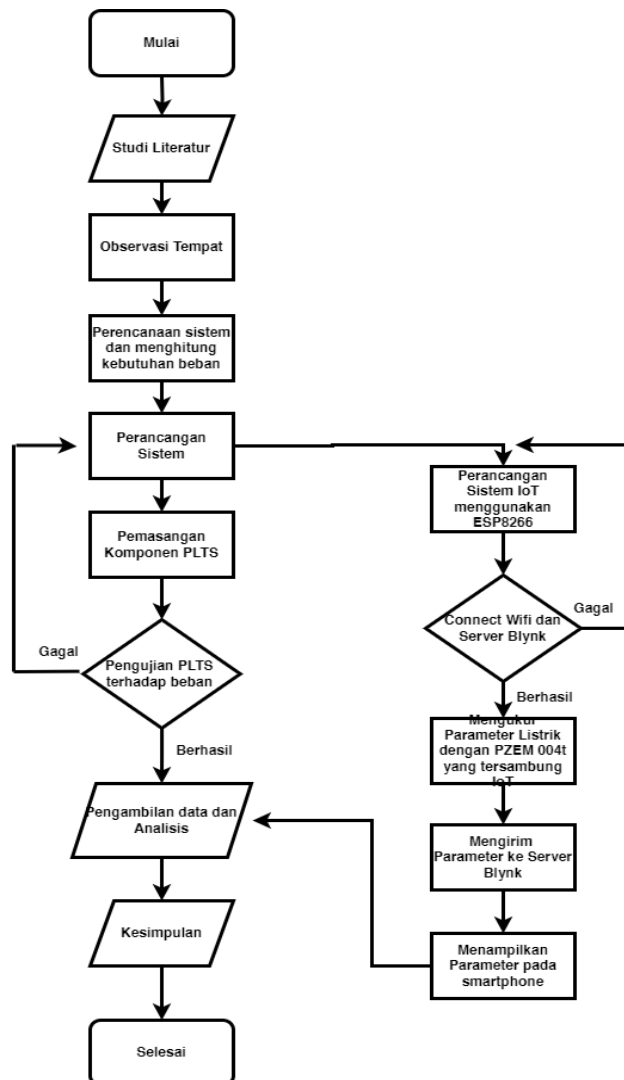
Berdasarkan Konfigurasi sistem pada Gambar 1 diketahui bahwa Solar PV, Baterai, dan Solar charge controller (SCC) berada pada bus DC sedangkan beban pompa air pada bus AC. Inverter berfungsi mengelola energi yang didapatkan dari Solar PV untuk disimpan ke baterai dan apabila beban menyala maka energi yang disimpan pada baterai diubah dari listrik DC ke AC untuk disuplai ke pompa air. Penggunaan SCC sendiri hanya dihubungkan pada baterai guna memonitoring parameter yang ada pada baterai seperti persentase energi yang disimpan, tegangan, dan suhu baterai.



Gambar 1. Konfigurasi Desain PV, Baterai, Kontroller, Inverter, Dan Beban Pompa Air

2.2. Flowchart

Flowchart dari Solar PV Sebagai Sumber Tenaga Listrik Untuk Memenuhi Beban Elektronik Di Kampung Oase Ondomohen Surabaya ditunjukkan pada Gambar 2



Gambar 2. Alur Pengerjaan Pembuatan Alat

Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2, dimulai dengan melakukan studi literatur terkait komponen dan parameter-parameter terkait penyelesaian dalam rumusan masalah yang diambil. Setelah studi literatur dilakukan maka dilanjutkan melakukan observasi tempat untuk dapat mengetahui kemungkinan yang paling optimal dalam pemasangan solar PV. Ketika sudah dilakukan observasi tempat maka dilakukan perencanaan sistem dan perhitungan kebutuhan beban elektronik yang perlu dipenuhi dalam sistem PLTS. Setelah perencanaan dan perhitungan beban dilakukan maka langkah berikutnya adalah perencanaan sistem. Perancangan sistem disini dilakukan dalam 2 tahap dimana perancangan terkait sistem PLTS dan terkait sistem IoT guna memonitoring hasil energi yang dihasilkan terhadap beban yang terpasang. Selepas kedua sistem telah dipasang, apabila alat gagal berfungsi ataupun mengalami kendala maka kembali pada perancangan sistem alat untuk menemukan problem solve nya dan jika berhasil digunakan dengan baik sesuai awal perencanaan sistem maka dilakukan pengambilan data dan analisis terkait alat yang terpasang tersebut. Langkah terakhir setelah analisis dilakukan adalah kesimpulan terhadap penelitian yang dilakukan tersebut.

3. Hasil dan Analisis

3.1. Perancangan Desain PV

Tujuan dari perancangan desain PV ini ialah untuk mengetahui total Kapasitas baterai, Kapasitas Solar PV, dan kapasitas Inverter yang sesuai dengan kebutuhan beban yang akan dipenuhi.

3.1.1. Perhitungan kebutuhan beban

Tabel 1. Kebutuhan Energi Tiap Hari

No	Beban Elektronik	Jumlah	Jumlah Daya (Watt)	Jam Pemakaian (h)	Total Daya yang Digunakan (Wh)
1	Pompa Air Kolam Ikan	1	26	24	624
2	Pompa Air Hidroponik	2	90	12	1080
	Total	3	116	36	1704

Pompa air hidroponik menyala 12 jam karena metode yang digunakan dalam budidaya hidroponik ialah DFT (Deep Flow Technique) dimana akar tanaman dibiarkan terendam di dalam larutan nutrisi yang mengalir dengan kecepatan rendah melalui saluran dangkal. Sehingga Total konsumsi daya yang diperlukan adalah 116 Watt dan konsumsi energi sebesar 1704 Wh per hari. Dengan mengasumsikan adanya kehilangan energi dalam sistem Solar PV maka total kebutuhan energi per hari tersebut dikalikan dengan safety faktor sebesar 20% ialah :

$$\begin{aligned}
 ET &= EB \times \text{Rugi dan Safety Faktor} \\
 &= 1704 \times 1.2 \\
 &= 2044.8 \text{ Wh}
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

Sedangkan jumlah daya setelah dikalikan dengan safety faktor adalah $116 \times 1.2 = 139.2$ Watt

3.1.2. Perhitungan Kapasitas Baterai

Perhitungan kapasitas baterai mempertimbangkan faktor cuaca apabila terdapat kondisi tanpa ada matahari (No-sun or Black Day). Kondisi tersebut diasumsikan baterai dapat bertahan atau dapat digunakan dalam kurun waktu 2 hari dengan DOD (Depth of Discharge) sebesar 80%. Rata-rata waktu beban adalah:

$$\text{Rata-rata waktu beban} = \frac{(\sum \text{Energy})}{(\sum \text{Power})} = \frac{2044.8}{139.2} = 14.68 \text{ h}
 \tag{2}$$

$$\begin{aligned} \text{Rata-rata discharge rate (h)} &= ((\text{autonomy day} \times \text{rata-rata waktu beban}) / \text{DOD}) \\ &= ((2 \times 14.68) / 0.8) = 36.7 \text{ h} \end{aligned} \quad (3)$$

$$\text{Kapasitas Baterai} = \frac{(D \times ET)}{(\text{DOD} \times \eta_{\text{out}} \times V)} = \frac{(2 \times 2044.8)}{(0.8 \times 0.9 \times 48)} = 118.33 \text{ Ah} \quad (4)$$

Sesuai perhitungan maka kapasitas baterai yang digunakan adalah 118.33 Ah atau 100 Ah. Jika baterai yang digunakan adalah baterai dengan tipe SOL12-100 12 Volt, 10 Hr rate capacity 100 Ah, maka jumlah baterai yang digunakan agar mampu bertahan dalam kondisi tanpa ada matahari atau (2x24jam) adalah:

$$\text{Paralel} = 118.33 \text{ Ah} / 100 \text{ Ah} = 1.183 = 1 \text{ unit} \quad (5)$$

$$\text{Seri} = 48 \text{ V} / 12 \text{ V} = 4 \text{ unit} \quad (6)$$

Sehingga total baterai yang digunakan adalah $1 \times 4 = 4$ unit

3.1.3. Perhitungan Kapasitas Solar PV

Solar PV monocrystalline 120 Wp dipilih dalam perancangan penelitian ini. Pada kondisi Standart Temperature Condition (STC) yaitu saat irradiasi senilai 1000 W/m² dan temperatur suhu mencapai 25°C yang akan digunakan sebagai acuan perhitungan kapasitas panel Solar PV array. Lama penyinaran matahari dalam satu hari antara jam 09.00 sd 14.00 atau sekitar 5 jam per hari.

$$\text{PV array power output} = \frac{\text{Daily electricity consumption}}{\text{Minimum sunshine time}} = \frac{2044.8 \text{ Wh}}{5 \text{ h}} = 408.96 \text{ Watt} \quad (7)$$

$$\begin{aligned} \text{Safety factor} &= \frac{(1 + \text{Surplus capacity})}{(\text{Battery efficiency} \times \text{Temperature loss factor} \times \text{dust loss factor} \times \text{controller efficiency})} \\ &= \frac{(1 + 0.15)}{(0.9 \times 0.9 \times 0.9 \times 0.85)} = 1.85 \end{aligned} \quad (8)$$

Nilai Surplus capacity berkisar antara 10% - 15%, perancangan ini diambil 15% = 0.15

$$\text{System Capacity} = \text{Output} \times \text{safety factor} = 408.96 \text{ W} \times 1.85 = 756.576 \text{ Watt} \quad (9)$$

$$\text{Total PV} = 756.576 \text{ W} / 120 \text{ W} = 6.304 = 7 \text{ unit panel Solar PV} \quad (10)$$

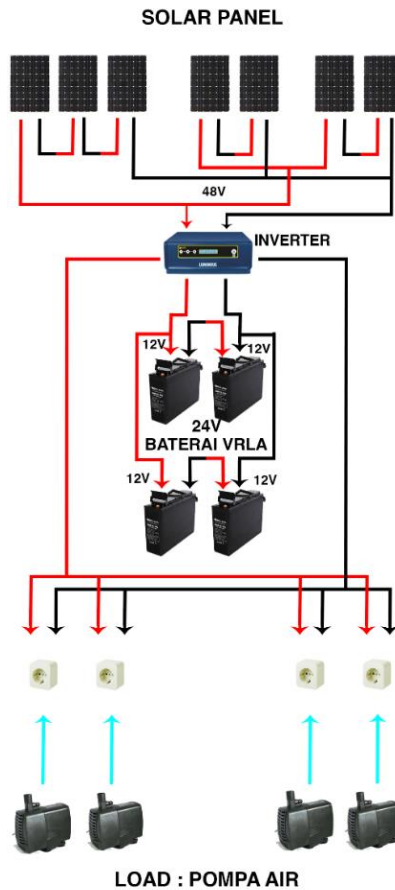
Dari perhitungan diatas maka dapat ditemukan hasil dimana solar PV untuk memenuhi kebutuhan beban di kampung oase ondomohen yang akan digunakan membutuhkan total 756.576 Watt atau berjumlah 7 unit dengan konfigurasi rangkaian campuran, seri-paralel.

3.1.4. Perhitungan Kapasitas Inverter

$$\text{Inverter Capacity} = \frac{\text{Load Power}}{\eta_{\text{inverter}}} = \frac{102 \text{ W}}{0.8} = 127.5 \text{ Watt} \quad (11)$$

$$\text{Controller current} = \frac{\text{System Capacity}}{(\text{Voltage} \times \text{Loss Factor})} = \frac{756.576 \text{ W}}{(48 \times 0.85)} = 19 \text{ A} \quad (12)$$

Sehingga, Inverter yang dipilih pada penelitian ini adalah jenis Hybrid Pure Sine Wave Inverter 1500Va dengan Controller current senilai 20 Ampere. Setelah perhitungan terkait parameter perancangan komponen telah ditemukan hasilnya maka berikut gambaran rangkaian hasil perhitungan perancangannya dengan menggunakan 7 unit solar PV, 4 Baterai, dan 1 unit Inverter yang disambungkan dengan beban elektronik yang ada ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Desain Hasil Perancangan Solar PV

3.2. Pengujian Kelayakan Solar PV

Pengujian solar PV dengan mempertimbangkan cuaca cerah, mendung, dan hujan sebagai perbandingan tentang pengaruh cuaca terhadap parameter yang dihasilkan oleh solar PV bertujuan untuk mengetahui seberapa layak penggunaan Solar PV digunakan di ondomohen. Dalam melakukan pengujian dan pengambilan data solar PV dilakukan menggunakan alat ukur multimeter dimana probe diletakkan pada kabel output solar PV atau terminal input inverter.

3.2.1. Pengujian Solar PV dengan Cuaca Mendung Dan Hujan

Tabel 2. Hasil Pengukuran Solar PV pada Cuaca Mendung & Hujan

Jam (Wib)	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)	Suhu (°C)	Irradiansi (W/M ²)	Keterangan
08.00	24.16	3.25	78.52	27	375.8	Mendung
09.00	24.26	3.27	79.33	30	574.88	Mendung
10.00	24.19	3.19	77.16	30	876.56	Mendung
11.00	24.17	3.16	76.37	31	954.82	Mendung
12.00	24.11	3.13	75.46	32	757.34	Mendung
13.00	24.07	3.14	75.579	32	154.72	Mendung
14.00	24.05	3.06	73.593	33	223.83	Mendung
15.00	24.04	0.82	19.712	31	185.31	Hujan
16.00	24.4	3.15	76.86	29	165.72	Hujan
17.00	24.1	2.4	57.84	27	75.71	Mendung
18.00	2.9	0.15	0.435	25	14.3	Mendung

Pada tabel 2 yang merupakan tabel hasil pengukuran hari pertama, dimana pada tabel tersebut pada pengukuran solar PV didapatkan titik puncak penyinaran matahari pada pukul 09.00-12.00. Pada pukul 13.00 hingga 18.00 irradiansi matahari sebagai input dari solar PV tidak dalam kondisi optimal dikarenakan pengaruh cuaca pra hujan - hujan - pasca hujan yang berdampak pada penurunan nilai arus solar PV.

3.2.2. Pengujian Solar PV dengan Cuaca Cerah, Mendung, dan Hujan

Tabel 3. Hasil Pengukuran Solar PV Cuaca Cerah, Mendung & Hujan

Jam (WIB)	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)	Suhu (°C)	Irradiansi (W/M ²)	Keterangan
08.00	25.03	3.35	83.850	30	216.68	Cerah
09.00	25.31	3.28	83.016	30	392.2	Cerah
10.00	24.95	3.19	79.59	30	634.5	Cerah
11.00	24.69	3.18	78.514	31	451.33	Cerah
12.00	24.58	3.17	77.918	32	306.77	Mendung
13.00	24.84	3.2	79.488	32	344.33	Mendung
14.00	24.78	3.18	78.8	33	360.22	Mendung
15.00	24.83	3.2	79.456	31	363.36	Mendung
16.00	24.16	3.13	75.62	30	119.09	Mendung
17.00	22.91	3.04	69.64	29	23.43	Hujan
18.00	1.8	0.08	0.144	24	0	Hujan

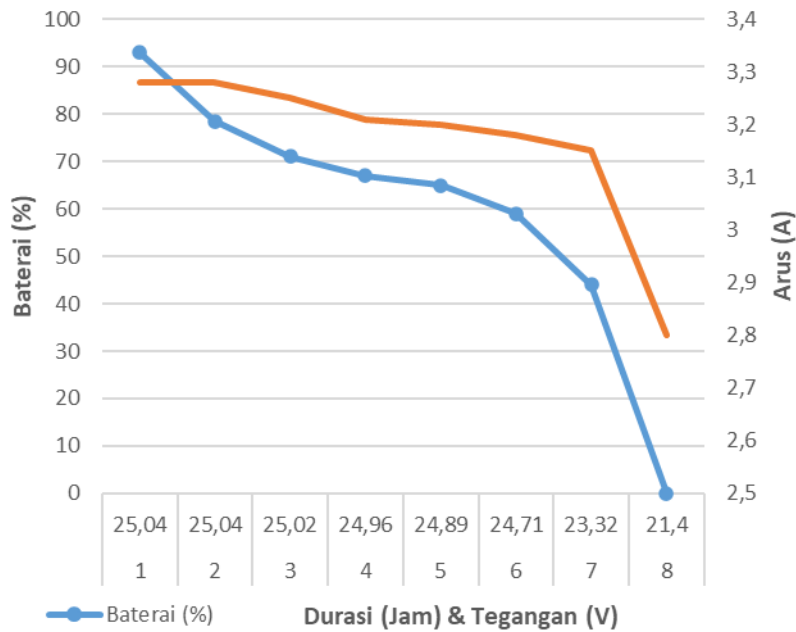
Pada tabel diatas menunjukkan bahwa titik puncak penyinaran matahari pada pukul 09.30-15.00 dengan hasil tegangan dan arus yang didapatkan cukup stabil dan cuaca yang mendung hingga pukul 17.00 baru Hujan turun yang menyebabkan arus drop menjadi 1 ampere.

3.2.3. Pengujian Solar PV dengan Cuaca Cerah

Tabel 4. Hasil Pengukuran Solar PV Hari pada Cuaca Cerah

Jam (Wib)	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)	Suhu (°C)	Irradiansi (W/M ²)	Keterangan
08.00	24.43	3.21	78.420	27	224.47	Cerah
09.00	24.61	3.22	79.244	28	479.03	Cerah
10.00	25.18	3.28	82.590	29	573.12	Cerah
11.00	25.73	3.27	84.137	29	546.33	Cerah
12.00	25.62	3.25	83.265	32	561.13	Cerah
13.00	24.6	3.12	76.752	31	625.08	Cerah
14.00	24.41	3.12	76.159	31	506.59	Cerah
15.00	24.46	3.15	77.049	30	367.72	Cerah
16.00	24.26	3.14	76.176	28	253.57	Cerah
17.00	24.2	3.12	75.504	27	91.07	Cerah
18.00	11.33	2.38	26.965	27	31.28	Cerah

Pada Tabel diatas menunjukkan hasil dimana cuaca seharian dalam kondisi cerah sehingga pada pengukuran solar PV didapatkan titik puncak penyinaran matahari pada pukul 10.00-14.00. Inverter juga berpengaruh dalam kestabilan daya pada saat transisi dari keadaan sore ke malam dimana irradiansi menurun. Kestabilan daya inverter ini dihasilkan oleh fitur power optimizer yang ada didalamnya.



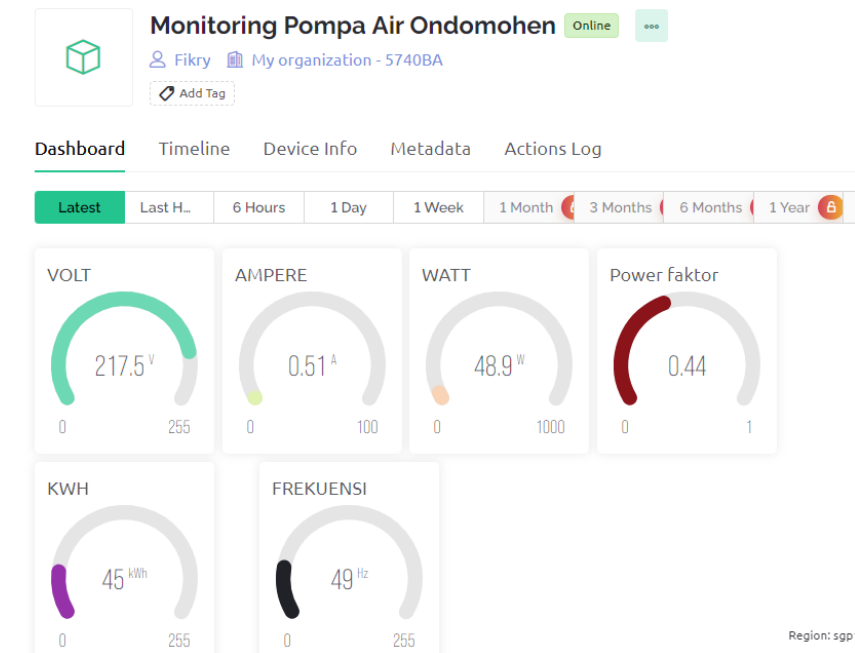
Gambar 4. Grafik Respon Discharge

3.3. Respon Discharge Baterai dengan penggunaan 3 buah pompa air nonstop.

Pengujian discharge baterai ini bertujuan untuk mengetahui seberapa lama ketahanan baterai untuk digunakan terhadap beban yang menyala secara terus menerus hingga energi yang disimpan pada baterai telah habis. Total durasi yang dibutuhkan untuk pengujian discharge baterai 24V 200Ah adalah 8 jam dan pada hasil akhirnya menunjukkan bahwa baterai mencapai 0% dengan tegangan di bawah batas kerja optimal yaitu 21 Volt. Setelah 5 jam, tegangan baterai tidak lagi optimal dan penurunan baterai terjadi dengan cepat, berbeda dengan jam-jam sebelumnya di mana kapasitas baterai turun secara konstan.

Tabel 5. Uji Kalibrasi PZEM 004T dengan Tang Ampere Terhadap 3 Pompa Air

Parameter	3 Pompa Air		
	PZEM-004T	Tang Ampere	Error (%)
Tegangan (Volt)	212.7	213	0.3
	216	216	0
	215.3	215.5	0.2
	215.8	216	0.2
	215.1	215	0.1
Arus (Ampere)	0.51	0.5	0.01
	0.22	0.2	0.02
	0.23	0.25	0.02
	0.5	0.5	0
	0.25	0.25	0
Frekuensi (Hz)	49.8	49.5	0.3
	49.8	50	0.2
	49.8	50	0.2
	49.8	50	0.2
	50	50	0



Gambar 5. Tampilan Software Blynk guna memonitoring hasil keluaran Solar PV terhadap Beban

3.4 Penggunaan Alat ukur PZEM-004T

Dalam memonitoring hasil keluaran sistem PLTS menggunakan alat ukur PZEM-004T berbasis *Internet of Things*. Tujuan penggunaan alat ukur ini adalah untuk mengetahui nilai parameter dari beban pompa air bertenaga PLTS ini dimana data hasil pengukuran akan diolah pada ESP8266 sebagai mikrokontroler. Dari mikrokontroler akan mengirimkan data pengukuran ke software Blynk guna mengetahui seberapa hasil keluaran solar PV terhadap beban pompa air yang digunakan.

Dari hasil uji kalibrasi alat yang sudah digunakan menunjukkan hasil error antara Energy meter PZEM-004T dengan Tang Ampere sebesar 0 – 0.4%. Berdasarkan hasil uji kalibrasi alat ukur ini menunjukkan bahwa penggunaan alat ukur PZEM 004-T masih valid dan mampu digunakan sebagai modul pengukuran pada penelitian ini. Setelah diketahui kelayakan alat ukur ini maka PZEM-004T ini disambungkan dengan mikrokontroler ESP8266 agar dapat digunakan secara IoT menggunakan software Blynk. Tampilan Blynk dapat dilihat melalui Gambar 5 dibawah ini.

3.5 Perhitungan Drop Tegangan

Dalam penyaluran tenaga listrik di omdomohen ini pada solar PV ke beban pada suatu instalasi, akan terjadi suatu perbedaan tegangan antara tegangan di sisi sumber yaitu titik solar PV terpasang dan tegangan di sisi beban elektronik yang dipasang yaitu pompa air. Dimana tegangan pada sisi sumber atau solar PV lebih besar dari pada tegangan di sisi beban pompa air. Hal inilah yang menyebabkan menjadi tujuan dilakukannya perhitungan drop tegangan.

Persentase Drop tegangan ialah 5% maka :

$$\text{Untuk sistem 1 Fasa: } \Delta V(\%) = \Delta U / (100\%) \quad U_n = \frac{5\%}{100\%} 220 = 11V$$

Rugi tegangan berdasarkan Luas penampang untuk arus bolak-balik satu Fasa (penampang minimum), yaitu : $\Delta U = 2 \times I \times l (RL \cos\phi + XL \sin\phi)$ Maka perhitungan diambil dari jarak terjauh dari MCB utama yaitu grup 2 . Dengan asumsi $\cos\phi = 0.9$ Kabel NYM 3 x 2.5 mm²

$$l = 8 \text{ Meter} = 0.08 \text{ Km (Dari MCB utama ke grup 2)} \quad (13)$$

$$I = I_n = \frac{P}{(V \times \cos\phi)} = \frac{85}{(220 \times 0.9)} = 0.347 \text{ A}$$

$$\Delta U = 2 \times I \times l (RL \cos\phi + XL \sin\phi) \quad (14)$$

$$\begin{aligned}
 &= 2 \times 0.695 \times 0.8 (8.866 + 0.318) \\
 &= 10.21 \text{ V} \\
 \Delta V(\%) &= \frac{\Delta U}{U_n} 100\% = \frac{10.21}{220} 100\% = 4.64\% \tag{15}
 \end{aligned}$$

3.6 Perhitungan Ekonomis

Perhitungan ekonomis dalam penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi dan menganalisis aspek-aspek ekonomi yang terkait dengan penerapan teknologi energi surya. Hal ini melibatkan berbagai komponen dan parameter ekonomi untuk membantu mengambil keputusan yang informasional dan rasional terkait investasi, pengembangan, dan penggunaan teknologi Solar PV.

3.6.1 Carbon Pricing

Perhitungan carbon pricing atau jejak karbon adalah untuk mengetahui jumlah karbon atau gas emisi yang dihasilkan dari energi listrik yang digunakan sebelumnya, yaitu sebelum dipasang solar PV. Selain itu tujuan lain dari dilakukannya perhitungan ini ialah untuk mengetahui seberapa besar dampak dari pemasangan solar PV sebagai renewable energy guna mendorong emisi gas rumah kaca.

Tabel 6. Jejak Karbon Listrik

No	Beban Elektronik	Jumlah	Jam/Minggu	Watt/alat	Total Watt	Total kW
1	Pompa Air Kolam Ikan	1	168	26	4368	4.368
2	Pompa Air Hidroponik	2	84	90	7560	7.560
Total					11928	11.928

$$\begin{aligned}
 \text{Electric Emission} &= \text{Electric Consumption} \times \text{Emisi Faktor} \tag{16} \\
 &= 11.928 \times 0.725 = 8647.8 \text{ kg/co}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Reduction Emision} &= \text{Electric Emission} \times \text{Percentage current of using solar photovoltaic} \tag{17} \\
 &= 8647.8 \times 4 \\
 &= 3459.12 \text{ kg/C0}^2
 \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan *carbon pricing* diatas didapatkan emisi energi listrik senilai 8647.8 kg/co² dan mampu ditekan dengan penggunaan solar PV sebesar 3459.12 kg/C0². perhitungan emisi karbon ini dilakukan dengan mempertimbangkan faktor emisi wilayah yang sesuai dengan tempat penelitian yaitu pulau Jawa yang senilai 0.725.

3.6.2 Life Cycle Cost

Dalam pengelolaan aset dan manajemen proyek, Life Cycle Cost bertujuan untuk menggambarkan semua biaya yang terkait dengan suatu produk, sistem, atau proyek dari awal hingga akhir siklus hidupnya. Konsep ini mencakup semua biaya yang terkait dengan pengembangan, pembuatan, penggunaan, perawatan, pemeliharaan, dan pembuangan barang atau sistem tersebut. Ini terdiri dari biaya awal (investasi), biaya penggunaan/operasi, dan biaya perawatan.

Tabel 7. Total Biaya Investasi (Peralatan)

No	Item	Jumlah	Harga Satuan (Rp.)	Total (Rp.)
1	Solar PV Mono 120 Wp	7	730.000.00	5.110.000
2	Inverter	1	3.000.000.00	3.000.000
3	Baterai VRLA Solana	4	2.250.000.00	9.000.000
4	Twin Kabel 2x2.5mm	1	260.500.00	260.500
5	Konektor kabel	2	12.535.00	25.070
6	MCB	1	85.000.00	85.000
7	Solar Charge Controller	1	180.000.00	180.000
Jumlah				17.660.570

$$\begin{aligned}
 O\&M_p &= O\&M [(1+i)^n/i(1+i)^n] & (18) \\
 &= USD 10 [(1+10\%)^{10}/(10\%(1+10\%)^{10})] \\
 &= USD 100 \\
 &= Rp.1.516.045
 \end{aligned}$$

Setelah diketahui biaya investasi dan biaya operasional dan perbaikan maka dapat dihitung nilai LCC dalam penggunaan modul PV.

$$\begin{aligned}
 LCC &= II + O\&M_p & (19) \\
 &= 17.660.570 + 1.516.045 \\
 &= Rp.19.176.615
 \end{aligned}$$

3.6.3. Cost Of Energy

Dalam penelitian ini, analisis *cost of energy* bertujuan untuk dapat membantu dalam memperkirakan tingkat kelayakan ekonomi dari sistem PLTS, mengidentifikasi faktor-faktor yang berkontribusi terhadap biaya energi.

$$CRF = \frac{I(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} = \frac{10\% (1+10\%)^{10}}{(1+10\%)^{10} - 1} = 10 \quad (20)$$

$$\begin{aligned}
 \text{Estimasi Energi} &= \frac{\text{Kapasitas Total}}{\text{Radiasi Maksimum}} \times \text{Irradiasi} = \frac{840 \text{ Wp}}{1000 \text{ W/M}^2} \times 387.2 \text{ W/M}^2 \times 365 \text{ hari} & (21) \\
 &= 118.71 \text{ kWh/ Tahun}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil perhitungan LCC, CRF, dan estimasi energi dalam satu tahun maka besar biaya energi (cost of energy) untuk PLTS sebagai berikut :

$$COE = \frac{LCC \times CRF}{A \text{ kWh}} = \frac{19.176.615 \times 10}{118.71} = RP. 1.615.417/\text{kWh} \quad (22)$$

3.6.4. Break Even Point

Analisis break-even point bertujuan untuk menghitung periode waktu yang diperlukan agar investasi awal dalam sistem Solar PV dapat terbayar kembali melalui penghematan biaya energi.

$$\text{Biaya listrik} = 1.704 \text{ kWh} \times Rp1.444,70.- = Rp. 2.461,76,-/\text{hari} \quad (23)$$

Apabila satu tahun rata-rata terdiri dari 365 hari, maka biaya listrik yang diperlukan selama satu tahun adalah

$$\text{Biaya listrik} = 365 \times Rp. 2.461,76,-/\text{hari} = Rp. 898.546/\text{tahun} \quad (24)$$

$$BEP = \frac{II}{\text{Biaya Listrik Tahunan}} = \frac{17.660.570}{898.546} = 19.6 \text{ Tahun} \quad (25)$$

4. Pembahasan

Berdasarkan hasil perancangan desain PV dengan total kebutuhan beban elektronik yang terpasang dimana pada penelitian ini beban yang digunakan ialah 3 buah pompa air dengan jumlah total kebutuhan listrik yang harus dipenuhi sebesar 139.2 Watt, kapasitas baterai yang dapat bertahan dalam kemungkinan kondisi tanpa ada matahari serta tetap memperhatikan nilai efisiensinya sehingga diperlukan 4 unit baterai yang dipasang seri-paralel, Pemilihan jenis solar panel yang perlu memperhatikan titik suhu standar dengan maksimum irradiansi sebesar 1000 W/m² dan untuk memenuhi kapasitas beban maka diperlukan 7 buah solar PV. Kapasitas inverter dengan standar efisiensi 0.8 dan controller current sebesar 20 ampere. Sebagai pengujian kelayakan dari hasil perencanaan maka dilakukan percobaan dengan kondisi hujan, mendung, maupun cerah dengan hasil dimana solar PV tetap mampu menghasilkan daya yang maksimal ketika cuaca sedang cerah dan mendung.

Berdasarkan Penggunaan energy meter atau PZEM-004T berbasis IoT yang menggunakan mikrokontroler Esp8266 dan aplikasi Blynk Iot guna memonitoring kualitas daya listrik pada beban elektronik dengan menggunakan Kabel jenis NYM 3 x 2.5 mm² menunjukkan hasil bahwa drop tegangan sebesar 10.21 Volt atau 4.64% yang nilainya masih termasuk kategori standar.

Berdasarkan Perhitungan biaya ekonomis yang meliputi total emisi karbon yang berguna untuk mengetahui seberapa banyak emisi yang dihasilkan sebelum pemasangan solar PV sebesar 8647.8 kg/co² dan total emisi yang dikurangi setelah pemasangan PV sebesar 3459.12 kg/C0². Life Cycle Cost yang digunakan untuk menggambarkan semua biaya yang terkait dengan suatu produk, sistem, atau proyek dari awal hingga akhir siklus hidupnya seperti biaya awal (investasi) senilai Rp. 17.660.570. biaya penggunaan/operasi dan biaya perawatan sebesar Rp. 1.516.045.00. Cost of energy atau biaya energi yang merupakan teknik analisis yang digunakan untuk menghitung dan mengevaluasi biaya yang terkait dengan produksi energi dari sistem PLTS dimana berjumlah Rp. 1.615.417/kWh. BEP atau disebut juga balik modal yang dinyatakan dalam tahunan ini membutuhkan selama 19.6 Tahun untuk kembalinya modal dari investasi penelitian ini.

5. Kesimpulan

Implementasi Solar PV ini diharapkan dapat mengembalikan dan mengoptimisasi kembali inovasi sebagai salah satu kampung wisata edukasi dengan menggunakan metode *Standalone/ Offgrid*. Hasil Implementasi dengan pengujian yang memperhatikan macam kondisi tropis yaitu hujan, mendung, dan cerah menunjukkan bahwa solar PV layak untuk digunakan sebagai renewable energy. Monitoring kualitas daya listrik menunjukkan hasil bahwa drop tegangan sebesar 10.21 Volt atau 4.64% yang nilainya masih termasuk kategori standar daya listrik. Pengamatan alat dan beban dilaksanakan selama 3 bulan operasional alat. Biaya penggunaan listrik serta *carbon pricing* pada pemasangan PV sebagai *renewable energy* mampu menekan 13.496 %C0² dan hasil pengembalian investasi didapatkan ketika mencapai 19.6 tahun pemakaian

Saran yang dapat dilakukan untuk kelanjutan penelitian (future study) adalah dengan melakukan penambahan kapasitas baterai agar pompa air dapat bertahan lebih lama, Melakukan pengujian tambahan terkait data baterai seperti SOC, SOH, dan DOD untuk menambah kedalaman dan analisis penelitian, Untuk mendapatkan hasil penelitian yang lebih baik lagi, disarankan bahwa untuk penelitian-penelitian selanjutnya perlu ditambahkan metode analisis dalam pengolahan data terkait penelitian yang dilakukan. Melakukan perbandingan dengan hasil pengukuran solar PV tipe lain agar dapat mengetahui perbedaan, efisiensi, serta hasil pemakaian dalam kondisi cuaca yang beragam juga.

Referensi

1. D. A. Widodo, "Pengembangan Potensi Energi Matahari Sebagai Energi Listrik Berwawasan Lingkungan Pada Area Atap Fotovoltaik Permukiman Provinsi Jawa Tengah," 2020.
2. Kementerian Koordinator Bidang Perekonomian Republik Indonesia, "Upaya Penurunan Gas Rumah Kaca Melalui Langkah Strategis Pada Sektor Kritis Perubahan Iklim," 2021. [Online]. Available: [Www.Ekon.Go.Id](http://www.ekon.go.id)
3. Media Publication Green Info, "Mengenal Carbon Pricing Dan Peranannya Dalam Mengatasi Perubahan Iklim," Nov. 19, 2021.
4. S. Ariyono, E. Wasito, S. Handoko, J. Teknik Elektro, And J. Teknik Mesin Politeknik Negeri Semarang, "Pemanfaatan Teknologi Konversi Energi Surya Untuk Hidroponik Pada Smp Alam Ar Ridho," 2018.
5. P. Honora, "Pemanfaatan Tenaga Surya Sebagai Penggerak Pompa Air Dc Pada Tanaman Hidroponik," 2018.
6. A. B. Pulungan, J. Sardi, And J. T. Elektro, "Pemasangan Sistem Hybrid Sebagai Penggerak Pompa Air," Vol. 5, P. 2019, [Online]. Available: [Http://Ejournal.Unp.Ac.Id/Index.Php/Jtev/Indexjtev](http://ejournal.unp.ac.id/index.php/jtev/indexjtev)
7. L. Mohammad, Suyanto, Muhammad Khamim Asy'ari, Asma'ul Husna, And Sarinah Pakpahan, "Pengembangan Sistem Hidroponik Otomatis-Modern Berbasis Panel Surya Dan Baterai," *Jurnal Nasional Teknik Elektro Dan Teknologi Informasi*, Vol. 10, No. 1, Pp. 77-84, Feb. 2021, Doi: 10.22146/jnteti.V10i1.727.



© 2019 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

