

ISSN 2087-3336 (Print) | 2721-4729 (Online)

TEKNOSAINS: Jurnal Sains, Teknologi dan Informatika

Volume 10, Nomor 1, Januari 2023, hlm 113-123

<http://jurnal.sttmcileungsi.ac.id/index.php/tekno>

DOI: 10.37373

Perancangan pompa air *off-grid* skala rumah tangga

Design of a household scale off-grid water pump

Arif Wibawa, Aripriharta*

*Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Malang, Indonesia, 65145

*Jl. Semarang 5 Malang, Jawa Timur, Indonesia 65145

*Koresponden Email: aripriharta.ft@um.ac.id

Artikel dikirim: 08/12/2022

Artikel direvisi: 17/12/2022

Artikel diterima: 18/12/2022

ABSTRAK

Penelitian ini menyajikan perancangan pompa air off-grid bagi pengguna dari cluster residential. Metode yang digunakan adalah desain experimental, dimana data primer diambil dari observasi langsung di lapangan berupa kapasitas pompa 500W, kebutuhan air untuk 5 orang, dan pasokan listrik sebesar 0,2915 kWh, termasuk juga data radiasi matahari di lokasi pemasangan panel surya. Untuk menjamin ketelitian, data radiasi diukur dengan *solar power meter* dan *lux meter* dan *software* Solar global atlas. Setelah itu, spesifikasi perangkat off-grid yang diperlukan dikalkulasi dan kemudian di install pada rumah seorang volunteer di daerah Sengkaling, Kabupaten Malang, Jawa timur. Sebuah rangkaian eksperimen untuk menguji performa pompa air *off grid* telah dilakukan pada range radiasi 680,12 W/m^2 sampai dengan 1146 W/m^2 . Khusus pengujian aur hubung singkat (*Isc*) dilakukan selama 1 hari. Berdasarkan hasil eksperimen diperoleh arus tertinggi sebesar 10,88A dan terendahnya sebesar 3,12A. Pengisian baterai berlangsung selama 6 jam 12 menit, dan rerata waktu pemakaian baterai dari kondisi penuh hingga 20% mencapai yaitu 55 menit.

Kata Kunci: Panel surya; pompa air; *off-grid*.

ABSTRACT

*The design of an off-grid water pump for residential cluster customers is presented in this study. The approach employed is an experimental design, and the major data is taken from direct field observations in the form of a 500W pump, water usage for five persons, and 0.2915kWh of electricity supply, as well as information on solar radiation at the site of the solar panel installation. Irradiation data is measured with a sun power meter, lux meter, and Solar global atlas software to verify accuracy. Following that, the requirements for the necessary off-grid equipment were computed and installed in a volunteer's residence in Sengkaling, Malang Regency, East Java. Several tests have been conducted to evaluate the effectiveness of off-grid water pumps in the irradiation range of 680.12 W/m^2 to 1146 W/m^2 . Specifically, a 1-day short circuit test (*Isc*) was conducted. The greatest current measured during the experiment was 10.88A, and the lowest was 3.12A. The typical usage period for one battery is 55 minutes, and batteries require 6 hours 12 minutes to fully charge.*

Keyword: Photovoltaik; water pomp; off-grid.

1. PENDAHULUAN

Dalam satu dekade terakhir di Indonesia, usaha pemerintah untuk mencapai rasio kelistrikan mencapai >80% pada tahun 2020 menjadikan pemanfaatan fotovoltaik atau panel surya untuk pembangkit tenaga listrik berkembang dengan sangat pesat [1]–[3]. Energi yang terjual per kelompok pelanggan pada rumah tangga memiliki persentase terbesar diantara yang lainnya yaitu sebesar 46,04%



TEKNOSAINS: Jurnal Sains, Teknologi & Informatika is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License. p ISSN 2722-9378 | e ISSN 2722-9386

dibanding energi yang terjual di industri sebesar 29,66% (2020) [3]. Hal ini dapat menunjukkan bahwa pemanfaatan energi baru terbarukan skala rumah tangga menjadi sangat berpengaruh dalam pengembangan energi bersih di Indonesia.

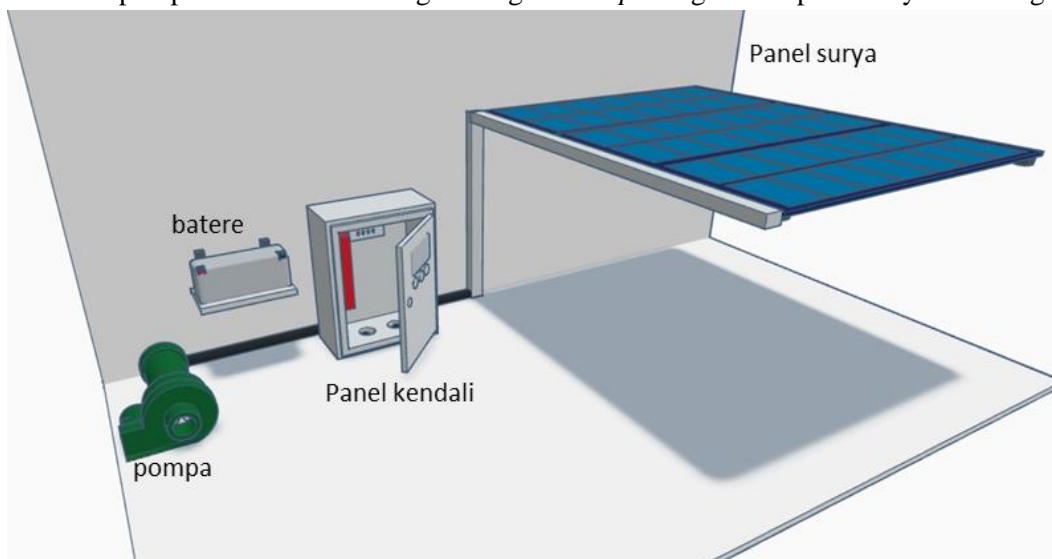
Di sektor residential, penyediaan air bersih merupakan salah satu kebutuhan primer dimana pompa air diperlukan sebagai pemasoknya. Pompa hidram telah dikembangkan oleh [4][5]. Namun pada kasus rumah tangga yang sudah menginstal pompa air dengan tenaga listrik, pilihan terbaiknya adalah dengan menggunakan hybrid atau off grid dengan sumber energi baru terbarukan (EBT), biasanya PV seperti yang dilakukan oleh [6]. Solar Water Pumping System (SWPS) menjadi pilihan untuk kasus yang bekerja dengan mengubah energi matahari menjadi listrik, kemudian listriknya digunakan oleh pompa air untuk memasok air bersih. SWPS dengan PV 600 Wp, Solar Charge Controller (SCC) 1,2 kW, dan inverter 225 W telah berhasil dikembangkan untuk memompa air sampai ketinggian 9 m di daerah Yogyakarta [6]. Pentingnya penerapan energi surya pada cluster rumah tangga [7], [8]. Kebanyakan studi lain fokus pada pompa air panas mengingat negara tempat risetnya adalah Eropa dan Amerika [9]–[26].

2. METODE.

2.1 Deskripsi sistem

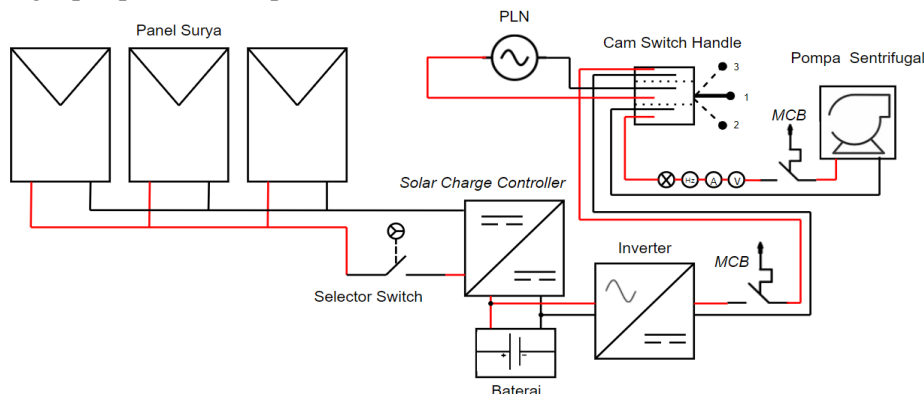
Metode perancangan adalah metode experimental dengan prosedur yang meliputi: observasi, desain, instalasi, pengujian dan analisis. Observasi dilakukan untuk mendapatkan data primer tentang kebutuhan air, daya listrik dan radiasi matahari. Desain bertujuan untuk membuat gambar 3D, parameter-parameter penting yang diperlukan sistem telah dihitung. Instalasi dan pengujian dilakukan pada sebuah rumah di daerah Sengkaling. Metode rerata dan regresi digunakan untuk melakukan analisis.

Gambar 1 memperlihatkan desain 3D pompa air off-grid skala rumah tangga yang dipasang di lokasi penelitian di Sengkaling, Kab. Malang, Jawa Timur. Desain 3D yang telah dirancang terdiri dari kotak panel yang berisi komponen utama pada sistem ini yaitu *Inverter*, *Mini Circuit Breaker*, indicator dan *Solar Charge Controller*. Pada bagian luar kotak panel terdapat baterai yang terletak di sisi sebelah kiri dari kotak panel. Pada bagian atas terdapat 3 buah panel surya yang terhubung secara paralel dan pada pompa air terletak di dalam rumah. Panel kendali dipakai untuk meletakkan MPPT dan Inverter untuk memperoleh daya optimal dari panel surya kemudian mengubahnya menjadi daya ac yang diperlukan oleh pompa air. Baterai berfungsi sebagai *backup* energi ketika panel surya kekurangan daya.



Gambar 1. Deskripsi sistem yang dirancang

Gambar 2 merupakan instalasi pompa air off-grid skala rumah tangga. Sistem ini menggunakan 5 buah panel surya dengan spesifikasi sesuai Tabel 1 yang dihubungkan secara paralel agar memenuhi kebutuhan voltase Solar Charge Controller (Tabel 2). Baterai yang digunakan memiliki spesifikasi tegangan 12V dan spesifikasi lengkapnya terlihat pada Tabel 3. Inverter, yang dipilih memiliki tegangan input 12V seperti Tabel 4, sehingga dapat bekerja dengan baik melayani keperluan pompa air. Pompa air yang digunakan merupakan pompa air 1 fasa yang memiliki daya keluaran $\approx 500\text{Watt}$ dengan spesifikasi lengkap seperti terlihat pada Tabel 5.



Gambar 2. Gambar teknik pengkabelan

2.2 Data

Adapun data yang digunakan pompa air off-grid skala rumah tangga diperlihatkan pada Tabel 1 sampai dengan Tabel 4.

Tabel 1. Data spesifikasi panel surya

No	Spesifikasi Panel Surya	
1	Daya Maksimal	300 W
2	Efisiensi Sel	16.93%
3	Tegangan Daya Maksimum (V_{mp})	17.8 V
4	Arus Daya Maksimum (I_{mp})	5.62 A
5	Tegangan Sirkuit Terbuka (V_{oc})	21.8 V
6	Arus Hubung Singkat (I_{sc})	6.05 A
7	Tegangan Sistem Maksimum	1000 V
8	Temperatur Operasional	-4°C to +85°C
9	Merk panel surya	Sun Asia

Tabel 2. Data spesifikasi SCC

No	Spesifikasi SCC	
1	Tegangan Sistem	12/24 Volt <i>Automatic Recognition</i>
2	Mode Pengecasan	Pengecasan PWM (<i>Pulse Width Modulation</i>)
3	Arus Sistem	30 Ampere
4	Layar	LCD
5	Temperatur Kerja	-35 – 60 °C

Tabel 3. Data spesifikasi baterai

No	Spesifikasi Baterai	
1	Tegangan	12 V
2	Kapasitas	65 aH (ampere-hour)
3	Resistansi	$\leq 6.1\text{m}\Omega$

No	Spesifikasi Baterai	
4	Berat	19 Kg
5	Ukuran Terminal	T11
6	Tipe Terminal	O
7	Jenis	VRLA (<i>Valve Regulated Lead Acid Battery</i>)
8	Merk baterai	SMT-Power

Tabel 4. Data spesifikasi *inverter*

No	Spesifikasi <i>Inverter</i>	
1	Maksimal Daya Puncak	2200W
2	Daya Keberlanjutan	1100W
3	Voltase Masukan	DC 12V
4	Voltase Keluaran	AC 220V
5	Dimensi	250 x 93 x 60 mm
6	Frekuensi	50Hz
7	Proteksi	<i>Short-circuit, overload, over temperature</i>
8	Merk <i>Inverter</i>	CJ-2200M

Tabel 5. Data spesifikasi pompa air

No	Spesifikasi Pompa Air	
1	Daya	150 Watt
2	Tegangan	220 Volt
3	Kapasitas maks	33L / Menit
4	Tinggi Total	11 Meter
5	Tinggi Hisap	4 Meter
6	Temperatur Maksimum	40°C
7	Frekuensi	50 Hz
8	Merk pompa air	-

2.3 Perhitungan perancangan

Berikut ini perhitungan parameter untuk sistem yang dirancang.

- *Perhitungan Kebutuhan Air Harian* [2] [9] [11] [14][18]. Data pemakaian air per tahun dalam satu rumah tinggal berdasarkan rekening air dalam satu rumah. Pada kasus rumah tinggal ini diperlukan air sebanyak 421.575 Liter/rumah/tahun. Sehingga dengan persamaan (1) diperoleh 1,155 L/hari

$$\Sigma_{air/hari} = \frac{\Sigma_{air/tahun}}{365_{Hari}} = 1,155 \text{ Liter/hari} \quad (1)$$

- Nilai *Fill Factor* [16,19,24] akan bekerja semakin baik dan memiliki efisiensi yang semakin tinggi ketika semakin besar nilai suatu FF pada panel surya. Perhitungan nilai FF dapat dilihat pada persamaan (4) berikut ini.

$$FF = \frac{I_{mp} \times V_{mp}}{I_{sc} \times V_{oc}} \quad (2)$$

$$FF = \frac{5,62 \text{ A} \times 17,8 \text{ V}}{6,05 \text{ A} \times 21,8 \text{ V}} = 0,75$$

- *Daya Keluaran panel surya*. Perhitungan daya keluaran dapat dihitung dengan memasukkan salah nilai FF yang telah dihitung sebelumnya.

$$P = V_{oc} \times FF \times I_{sc} \quad (3)$$

$$P = 21,8 V \times 0,75 \times 6,05 A$$

$$P = 98,9175 Watt$$

- *Perhitungan Durasi Pemakaian Pompa Air.* Air yang diperlukan untuk memenuhi kebutuhan air harian dalam rumah tangga adalah 1.155 liter per hari. Daya yang dikonsumsi oleh pompa air bergantung kepada durasi selama pompa menyala. Waktu yang diperlukan untuk mengisi penuh tangki penampungan air dalam sehari ditunjukkan pada formula berikut.

$$t_{pompa} = \frac{\Sigma_{air/hari}}{\Sigma_{pompa/menit}} \quad (4)$$

$$t_{pompa} = \frac{1,155L}{33 L/menit}$$

$$= 35 Menit (0,583 Jam)$$

- *Perhitungan Total Beban Listrik Harian.* Perhitungan yang digunakan untuk mencari total beban pemakaian per-hari adalah sebagai berikut:

$$E_{Total} = P_{Beban} \times t_{pompa} \quad (5)$$

$$= 150 Watt \times 0,583 Jam$$

$$= 291,5 Wh$$

- *Peak Sun Hour.* Data *Peak Sun Hour* membutuhkan parameter *Global Horizontal Irradiation* di mana ditentukan dengan formula berikut.

$$PSH = \frac{GHI}{365days} \quad (6)$$

$$= \frac{1905,9}{365}$$

$$= 5,22 Jam$$

- *Menentukan Jumlah Modul Panel Surya.* Perhitungan yang digunakan untuk menentukan kapasitas panel surya yang sesuai dengan beban untuk pemakaian adalah:

$$\Sigma_{Modul} = \frac{E_{Total}}{P \times PSH} \quad (7)$$

$$\frac{291,5}{98,9175 \times 5,22} = 0,564 \approx 1 Modul$$

Di mana : Σ_{Modul} = Jumlah Modul Panel Surya

- *Menentukan Kapasitas Baterai.* Perhitungan yang digunakan untuk menentukan kapasitas baterai atau aki adalah:

$$\Sigma_{Bat} = \frac{E_{total} \times Hari otonomi}{V_{dc} \times I_{dc} \times DoD} \quad (8)$$

$$\frac{291,5 \times 2}{12 V \times 65 Ah \times 0,8} = 0,934 \approx 1 Baterai$$

- *Perhitungan Kapasitas Inverter*

$$P_{Inv} = W_{maks} + (25\% * W_{maks}) \quad (9)$$

$$= 1.282 + (25\% * 1.282)$$

$$= 1.602,5 Watt$$

- *Perhitungan Solar Charge Controller.* Menentukan kapasitas *Solar Charge Controller* dapat ditentukan dengan formula berikut.

$$I_{scc} = \frac{\Sigma P_{panel} \times F_{safe}}{V_{mp}} \quad (10)$$

$$= \frac{296,7525 \times 1,25}{17,8}$$

$$= 20,83 A \approx 30 A$$

- *Break Even Point*. Agar dapat mengetahui konsumsi daya yang disediakan oleh plts maka dibutuhkan perhitungan seperti berikut.

$$C_{\text{Hari}} = 2,173,04 \text{ kWh} \times \text{Rp } 1.467 \quad (11)$$

$$= \text{Rp } 3.187,849, - / \text{ Hari}$$

$$BEP = \frac{\text{Rp } 5.727.407,-}{\text{Rp } 1.163.564,-} = 4,9 \text{ Tahun} \quad (12)$$

- *Anggaran biaya* yang harus dikeluarkan untuk membangun PLTS sistem *off-grid* untuk pompa air pada instalasi skala rumah tangga adalah sebesar Rp 5.670.700, - dan biaya pemeliharaan adalah sebesar Rp 56.707,-. Waktu yang diperlukan untuk mencapai titik impas yaitu selama 4,9 tahun.
- Rasio performa. Daya aktual panel surya yang dipakai telah dikali dengan 365 hari untuk mendapatkan nilai 1 tahun penuh yang ditunjukkan dengan formula *berikut ini*.

$$PR = \frac{386,326}{1901,8 \times 1,04 \times 1,62 \times 16,93\%} \quad (13)$$

$$PR = 0,72 \text{ (72\%)}$$

3. HASIL DAN PEMBAHASAN.

Lokasi pemasangan sistem yang telah dirancang ini adalah sebuah rumah tinggal yang beralamat di Jl. Teratai No.10, Sengkaling, Mulyoagung, Kec. Dau, Malang, Jawa Timur dan terletak di titik, dengan suhu rata-rata 23.9°C terletak di kabupaten malang seperti Gambar 3. Kondisi panel surya pada Gambar 4 memperlihatkan bahwa PV tidak terhalangi oleh apapun sehingga tidak mendapatkan bayangan yang akan mempengaruhi performa dari panel surya tersebut. Gambar 5 memperlihatkan baterai yang terpasang diletakkan di sebelah kotak panel dan pada bagian depan kotak panel terdapat beberapa indikator yang telah terpasang sesuai dengan pengkabelan sistem sehingga dapat mengetahui kondisi listrik yang sedang berjalan.



Gambar 3. Titik lokasi instalasi



Gambar 4. Panel surya



Gambar 5. Kotak panel dan baterai

Tabel 6. Data pengukuran

Hari ke	Irr (W/m ²)	V _{pv} (V)	V _b (V)	V _{inv} (V)	I _{pv} (V)	I _b (A)	I _{inv} (A)	T (°C)
1	991,1	13,52	13,33	220,85	9,28	5,87	0	29,84
2	29,84	13,33	220,85	9,28	5,87	0	991,1	206.428
3	206.428	220,85	9,28	5,87	0	991,1	29,84	13,30
4	13,30	9,28	5,87	0	991,1	29,84	206.428	13,10
5	13,10	5,87	0	991,1	29,84	206.428	13,30	221,04
6	221,04	0	991,1	29,84	206.428	13,30	13,10	8,68
7	8,68	991,1	29,84	206.428	13,30	13,10	221,04	5,43

Pengukuran performa pompa air *Off-Grid* dilakukan selama 7 hari berturut-turut di lokasi pemasangan. Data telah diambil selama percobaan tersebut dari pukul 9 pagi hingga pukul 3 sore menggunakan metode rata-rata. Hasil pengukuran yang ditampilkan pada Tabel 6. Tabel 6 mencakup data Tegangan Panel V_{pv} (V), Tegangan Baterai V_b(V), Tegangan *Inverter* V_{inv} (V), Arus Panel I_{pv}

(A), Arus Baterai Ib (A), Arus *Inverter* Inv (A), Radiasi Irr (W/m^2), dan Suhu T ($^{\circ}C$). Pada percobaan ini Sebagian besar beban tidak aktif/ tidak menyala karena kondisi tandon sedang penuh. Tetapi pada hari ke-3, hari ke-4 dan hari ke-7, masing-masing beban menyala sekitar 1 menit, 14 menit dan 22 menit. Radiasi matahari terlihat normal antara $900 W/m^2$ sampai dengan $1146 W/m^2$.

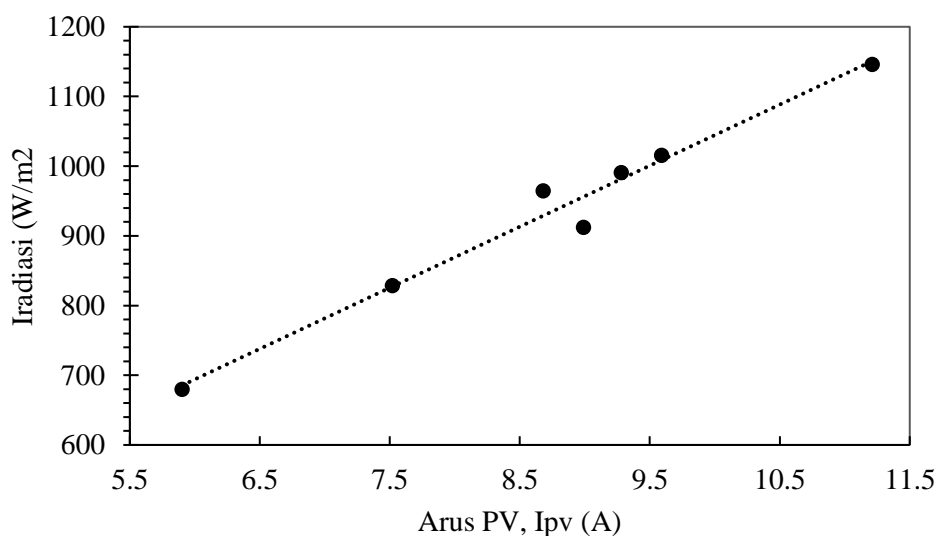
3.1 Analisis

Hasil pengujian pengisian baterai hingga penuh dan pemakaian baterai hingga tersisa 20% telah dicoba beberapa kali sebelum menghasilkan data pada tabel 6. Gambar 6 memperlihatkan hubungan yang linear antara radiasi matahari dengan arus baterai. Semakin tinggi radiasi yang didapat maka semakin tinggi nilai arus yang akan mengalir ke baterai dan sebaliknya. Rerata pengisian baterai, waktu yang diperlukan untuk proses pengisian sehingga baterai penuh adalah 6 jam 12 menit. Durasi pengisian ini tidak selalu sama setiap saatnya, dikarenakan bergantung pada kondisi cuaca di lokasi penelitian. Selisih pengukuran radiasi dengan software dan alat ukur mencapai 23%. Hal ini dikarenakan saat pengujian langsung, cuaca yang terjadi di lapangan cenderung tidak menentu.

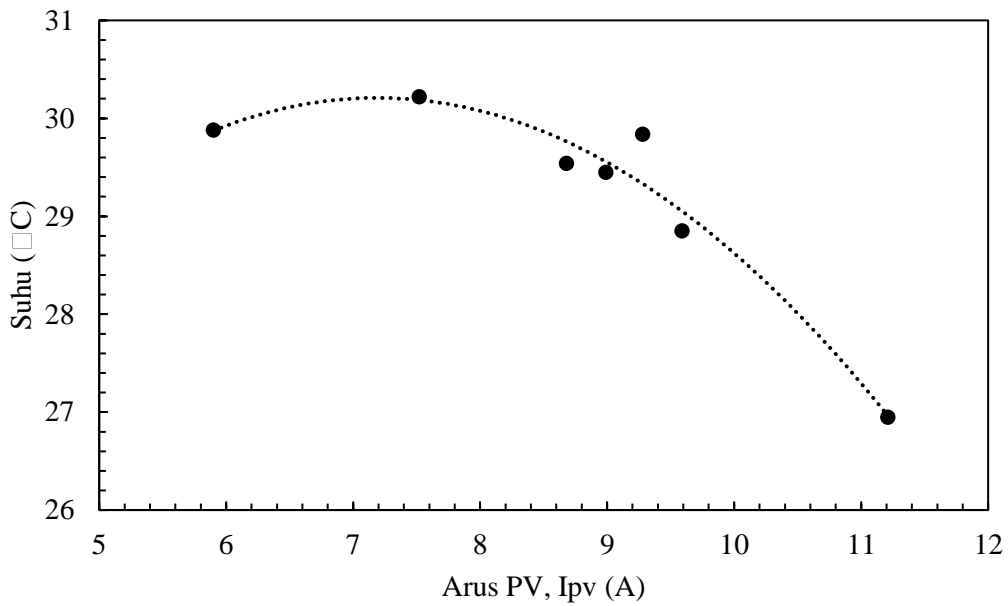
Temperatur permukaan panel surya dapat mempengaruhi performa panel, sehingga SCC harus bekerja lebih keras dalam mengisi baterai. Kurva pada Gambar 7 memperlihatkan hubungan yang tak linear antara suhu permukaan panel surya dengan arus pv. Semakin tinggi suhu permukaannya, semakin kecil arus yang dihasilkan panel surya.

Pada pengujian hubung singkat, proporsi dari radiasi dengan arus hubung singkat I_{sc} panel surya hamper sama pada setiap percobaan. Gambar 8 memperlihatkan proporsi arus hubung singkat panel surya terhadap radiasi matahari. Pada kurva ini, nilai kedua variabel tersebut telah dinormalisasi terhadap masing-masing nilai pengukuran maksimumnya. Arus hubung singkat pada panel surya berbanding lurus dengan iradiasinya. Nilai arus hubung singkat ini lebih tinggi dari arus maksimum panel surya, dan dipakai dalam menentukan kapasitas pengamannya.

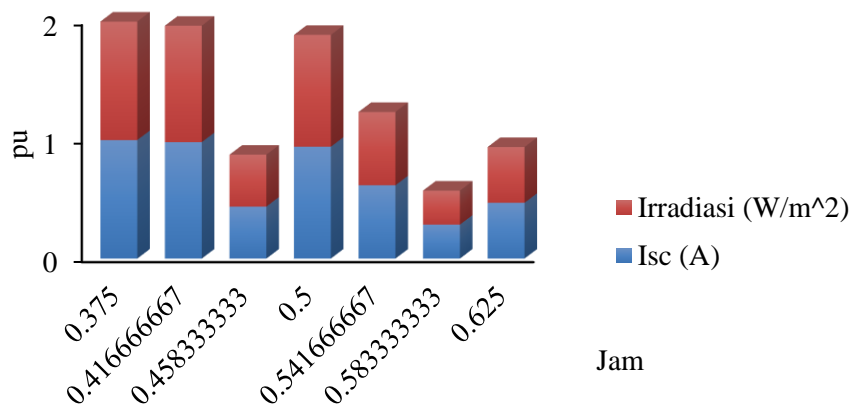
Profil pemakaian energi listrik pada sistem pompa air *off-grid* skala rumah tangga 0.3 kWp ini diperlihatkan pada Gambar 9. Energi listrik terbesar dikonsumsi pada hari ke 4 yang mencapai 2,31 kWh dan terendah pada hari ke 1,2,5 dan hari ke 6 yaitu 0 kWh. Pada hari ke-3, pompa air mengkonsumsi energi dari sistem panel surya *off-grid* sebesar 0.05 kWh dan pada hari ke-7 sekitar 1,21 kWh. Energi yang dikeluarkan ini sesuai dengan lama pemakaian pompa pada setiap harinya.



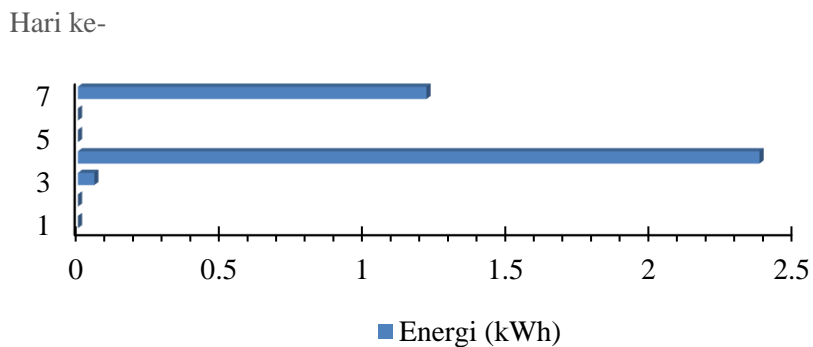
Gambar 6. Kurva radiasi vs arus pv



Gambar 7. Kurva suhu permukaan panel surya vs arus pv



Gambar 8. Rasio radiasi terhadap arus hubung singkat



Gambar 9. Kurva pemakaian energi listrik

4 SIMPULAN

Sistem ini memiliki kapasitas dengan kapasitas 0,3kWp dengan modul jenis monokristal 100Wp sebanyak 3 buah dengan baterai 65Ah dan *Inverter* kapasitas 2200W. Dari hasil pengukuran, diperoleh

bahwa durasi pengisian baterai rerata mencapai 6 jam pada kondisi radiasi yang normal. Durasi pemakaian baterai terhadap beban dari kondisi penuh hingga menyisakan 20% yaitu 55 Menit. Pengukuran yang dilakukan pada pengujian langsung dan data pada *software* memiliki perbedaan dikarenakan semakin besar nilai radiasi matahari, maka semakin besar pula daya total yang dihasilkan pada panel surya. Semakin kecil nilai radiasi matahari, maka daya total yang dihasilkan pada panel surya juga kecil. Hal ini berbanding terbalik dengan arus pengisian di mana nilai arus akan semakin kecil jika kondisi baterai menuju keadaan penuh.

REFERENSI

- [1] K. T. Mauriraya, R. Afrianda, A. Fernandes, A. Makkulau, D. P. Sari, and N. Kurniasih, "Edukasi Pemanfaatan PLTS untuk Penerangan Jalan Umum Di Desa Cilatak Kecamatan Ciomas Kabupaten Serang Banten," *Terang*, vol. 3, no. 1, pp. 92–99, 2020, doi: 10.33322/terang.v3i1.535.
- [2] PLN, "Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik (RUPTL) PT PLN (Persero) 2021-2030.," *Rencana Usaha Penyediaan Tenaga List. 2021-2030*, pp. 2019–2028, 2021.
- [3] C. L. Malik and C. L. Malik, "Indonesia Country Report," no. March, pp. 1–7, 2020, doi: 10.1109/o-cocosda46868.2019.9060831.
- [4] M. Jafri, P. Studi, and T. Mesin, "Karakteristik Tabung Udara Pada Pompa Hidram," vol. 05, no. 01, pp. 1–8, 2018.
- [5] U. S. Ucok, "A Perancangan Pompa Hidram Pada Tabung Udara Dengan Metode VDI 2221," *TEKNOSAINS J. Sains, Teknol. dan Inform.*, vol. 7, no. 1, 2020, doi: 10.37373/tekno.v7i1.7.
- [6] A. Hilali, Y. Mardoude, Y. Ben Akka, H. El Alami, and A. Rahali, "Design, modeling and simulation of perturb and observe maximum power point tracking for a photovoltaic water pumping system," *Int. J. Electr. Comput. Eng.*, vol. 12, no. 4, pp. 3430–3439, 2022, doi: 10.11591/ijece.v12i4.pp3430-3439.
- [7] M. Abu-Aligah, "Design of photovoltaic water pumping system and compare it with diesel powered pump," *Jordan J. Mech. Ind. Eng.*, vol. 5, no. 3, pp. 273–280, 2011.
- [8] T. A. Ajiwiguna and A. Qurthobi, "Techno-economic analysis of stand-alone PV system: A case study of public street lighting for remote area in Indonesia," *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, vol. 700, no. 1, 2021, doi: 10.1088/1755-1315/700/1/012013.
- [9] Aripriharta *et al.*, "Penerapan Teknologi Pompa Air Bertenaga Surya Untuk Layanan Masyarakat Pesantren," *J. Graha Pengabd.*, vol. 2, no. 1, pp. 60–70, 2020, [Online]. Available: <http://journal2.um.ac.id/index.php/jgp/article/view/12160>.
- [10] S. Kumar, "PHOTO VOLTAIC PEAK-POWER TRACKER USING A SQUARE- WAVE INVERTER," vol. 2, no. 4, pp. 1–9, 2015.
- [11] N. Wang, K. Liu, J. H. Hu, and X. K. Wang, "Simulation of operation performance of a solar assisted ground heat pump system with phase change thermal storage for heating in a rural building in Xi'an," *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, vol. 238, no. 1, pp. 0–7, 2019, doi: 10.1088/1755-1315/238/1/012062.
- [12] F. Leonforte, C. Del Pero, N. Aste, A. Miglioli, L. Croci, and G. Besagni, "Energy assessment and monitoring of a novel photovoltaic-thermal collector designed for solar-assisted heat pump systems," *IET Renew. Power Gener.*, vol. 14, no. 13, pp. 2323–2330, 2020, doi: 10.1049/iet-rpg.2020.0108.
- [13] K. I. Alghamdi, C. K. Bach, J. D. Spitler, K. I. Alghamdi, C. K. Bach, and J. D. Spitler, "Water-Based Thermal Energy Storage for Heating and Air- Conditioning Applications in Residential Buildings : Review and Preliminary Study Water - Based Thermal Energy Storage for Heating

- and Air - Conditioning Applications in Residential Buildings : Review and Preliminary Study,” 2022.
- [14] J. Hadorn, “Solar and Heat Pump Systems,” *Mater. Sci.*, vol. 2, no. 1, pp. 1–20, 2018.
- [15] Y. Lin, Z. Bu, W. Yang, H. Zhang, V. Francis, and C. Q. Li, “A Review on the Research and Development of Solar-Assisted Heat Pump for Buildings in China,” *Buildings*, vol. 12, no. 9, pp. 1–33, 2022, doi: 10.3390/buildings12091435.
- [16] N. Saberi Shahmarvandi *et al.*, “Effects of Different Target Solar Fractions on Providing Heat Required for Space Heating, Sanitary Hot Water, and Swimming Pool in Iran: A Case Study in Cold Climate,” *J. Eng. (United Kingdom)*, vol. 2022, no. Figure 1, 2022, doi: 10.1155/2022/2720057.
- [17] J. M. G. López, E. Pouresmaeil, C. A. Cañizares, K. Bhattacharya, A. Mosaddegh, and B. V. Solanki, “Smart Residential Load Simulator for Energy Management in Smart Grids,” *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 66, no. 2, pp. 1443–1452, 2019, doi: 10.1109/TIE.2018.2818666.
- [18] M. J. Al Nehru, B. Alfaresi, and F. Ardianto, “Analisa Performansi Photovoltaic 200 WP dan Pompa Air Dc pada Implementasi Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS),” *J. Ilm. Univ. Batanghari Jambi*, vol. 21, no. 3, p. 1197, 2021, doi: 10.33087/jiubj.v21i3.1637.
- [19] A. Rawat, S. K. Jha, and B. Kumar, “An Overview of Configuration Strategies and Control Techniques for Solar Water Pumps,” *SSRN Electron. J.*, no. 2014, pp. 447–454, 2019, doi: 10.2139/ssrn.3352352.
- [20] M. A. Khelifi, “Study and control of photovoltaic water pumping system,” *J. Electr. Eng. Technol.*, vol. 11, no. 1, pp. 117–124, 2016, doi: 10.5370/JEET.2016.11.1.117.
- [21] F. K. K. S. S. Mohamed Thahir P.A., “IRJET- Solar Powered Water Pump using PMSM with Energy Management for Agricultural Purpose in Rural Areas,” *Irjet*, vol. 8, no. 5, pp. 5–10, 2021, doi: 10.35629/5252-030513541362.
- [22] T. Morales, “Design of Small Photovoltaic (PV) Solar-Powered Water Pump Systems Natural Resources Conservation Service,” no. 28, 2010.
- [23] R. Kumar and B. Singh, “Grid Interactive Solar PV-Based Water Pumping Using BLDC Motor Drive,” *IEEE Trans. Ind. Appl.*, vol. 55, no. 5, pp. 5153–5165, 2019, doi: 10.1109/TIA.2019.2928286.
- [24] A. K. Mishra and B. Singh, “Solar Powered Water Pumping Station Utilizing Improved Cuk Converter Integrating to Storage System,” *2018 20th Natl. Power Syst. Conf. NPSC 2018*, pp. 1–6, 2018, doi: 10.1109/NPSC.2018.8771741.
- [25] S. Angadi, “Comprehensive Review on Solar, Wind and Hybrid Wind-PV Water Pumping Systems-An Electrical Engineering Perspective,” *CPSS Trans. Power Electron. Appl.*, vol. 6, no. 1, pp. 1–19, 2021, doi: 10.24295/cpsstpea.2021.00001.
- [26] S. Orts-Grau *et al.*, “Photovoltaic Water Pumping: Comparison between Direct and Lithium Battery Solutions,” *IEEE Access*, vol. 9, pp. 101147–101163, 2021, doi: 10.1109/ACCESS.2021.3097246.