

UJI EKSPERIMENTAL MODUL SURYA 130 WP UNTUK SUPLAI LISTRIK LEMARI PENDINGIN VAKSIN DI DAERAH TERPENCIL

Akmal ¹⁾, Antoni Simanjuntak²⁾, Jandri Louhenapessy³⁾, Isak Aponno⁴⁾

¹⁾Prodi Teknik Mesin, Fakultas teknik, Universitas Pattimura
Email: akmal2877@gmail.com,

²⁾Prodi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Pattimura
Email: antonisimanjuntak4@gmail.com,

³⁾Prodi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Pattimura
Email: jandrileonora@yahoo.co.id,

⁴⁾Prodi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Pattimura
Email: isakaponno9@gmail.com,

Abstrak. Menurut Depkes RI dan WHO, bahwa sebagian besar vaksin harus didinginkan pada temperatur 2°C – 8°C. Penyimpanan vaksin pada umumnya menggunakan lemari pendingin dengan kompresor bertenaga listrik, sehingga tidak dapat dilakukan di daerah terpencil yang belum mendapat akses listrik. Dari potensi energi surya di kawasan Timur Indonesia sekitar 5,1 kWh/m²/hari, maka penggunaan modul surya untuk suplai listrik lemari pendingin vaksin perlu dipertimbangkan. Penelitian ini merupakan pengujian eksperimental terhadap modul surya *monocrystalline* 130 Wp dan lemari pendingin daya 74 watt. Permasalahannya adalah berapa energi listrik yang dihasilkan *photovoltaic* 130 Wp dan durasi waktu maksimum pengoperasian lemari pendingin vaksin. Penelitian bertujuan untuk menentukan energi listrik yang dihasilkan dan durasi waktu maksimum pengoperasian lemari pendingin vaksin. Penelitian ini dilakukan dengan dua metode yaitu eksperimen dan perhitungan. Eksperimen dilakukan untuk mengukur intensitas matahari (E), tegangan *open circuit* (V_{OC}) dan arus *short circuit* (I_{SC}) panel surya, sedangkan perhitungan dilakukan untuk menentukan energi listrik yang dihasilkan panel surya (Wh), konsumsi energi listrik lemari pendingin vaksin (Wh) dan durasi waktu maksimum pengoperasian lemari pendingin vaksin. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan *photovoltaic* 130 Wp dengan rata – rata intensitas matahari sebesar 4.971,14 Wh/m²/hari, dapat menghasilkan energi listrik sebesar 1.061 Wh/hari dan durasi waktu pengoperasian lemari pendingin vaksin maksimum selama 12,5 jam.

Kata kunci: Lemari Pendingin Vaksin, Panel Surya 130 Wp, Intensitas Matahari.

1. PENDAHULUAN

Perencanaan yang baik atas kebutuhan logistik vaksinasi berperan penting dalam mendukung pelayanan vaksinasi. Menurut Depkes RI dan WHO terkait dengan penyimpanan vaksin, aturan umum untuk sebagian besar vaksin harus didinginkan pada temperatur 2°C – 8 °C. Kebanyakan penyimpanan vaksin menggunakan sistem pendingin dengan kompresor bertenaga listrik, sehingga suhu vaksin tetap terjaga. Oleh karena itu energi listrik selama penyimpanan vaksin harus dijamin ketersediannya.

Permasalahan sekarang adalah masih terdapat 419 desa di Maluku yang belum dialiri listrik PLN (Bobby Palapia, 2017) diantaranya desa Effa, Lahema dan Ilily Kecamatan Wakate, Kabupaten Seram Bagian Timur (Salim Rumakefin, 2020). Dengan demikian penyimpanan vaksin untuk ketiga desa tersebut masih dilakukan di kecamatan. Adapun pendistribusiannya saat vaksinasi dengan menggunakan *coolbox* berisi es batu melalui jalur laut yang berjarak 10 km dan sangat bergantung pada kondisi cuaca, sehingga belum dapat menjamin kualitas suhu vaksin.

Berdasarkan data dari Dewan Energi Nasional, potensi energi surya di kawasan

Timur Indonesia sekitar 5,1 kWh/m²/hari. Dengan demikian pemanfaatannya sebagai energi listrik untuk lemari penyimpanan vaksin di daerah terpencil perlu dipertimbangkan. Adapun panel surya yang digunakan dalam penelitian ini adalah jenis *monocrystalline* daya 130 Wp dengan dimensi 1,21m x 0,67m x 0,03m. Dari dimensi tersebut diperoleh luas permukaan panel surya sebesar 0,81 m², sehingga potensi daya input panel surya adalah sebesar 4,131 kWh/m²/hari. Dari potensi ini, maka penggunaan panel surya 130 Wp sebagai sumber listrik lemari pendingin vaksin di daerah yang belum dialiri listrik PLN dapat dipertimbangkan. Output penelitian dapat menjadi informasi penting dalam penggunaan panel surya sebagai sumber energi listrik lemari pendingin vaksin.

Langkah awal dalam penelitian ini adalah melakukan perancangan konsep penelitian. Langkah selanjutnya melakukan assembling terhadap semua peralatan seperti yang ada pada perancangan konsep. Pengukuran intensitas matahari dilakukan untuk mengetahui arus dan tegangan keluaran panel surya selanjutnya untuk mengetahui energi listrik yang dihasilkan panel surya dan baterai yang dibutuhkan. Pengukuran tegangan dan arus pada lemari vaksin juga dilakukan untuk mengetahui daya riil yang dibutuhkan dengan variasi jam operasi, sehingga durasi waktu pengoperasian dapat ditentukan.

Kaitannya dengan uraian di atas, maka dalam penelitian ini dilakukan **KAJI KSPERIMENTAL PANEL SURYA 130 WP SEBAGAI SUMBER ENERGI LISTRIK LEMARI PENDINGIN VAKSIN DI DAERAH TERPENCIL.**

2. BAHAN DAN METODE

2.1 Konsep dan persamaan Penimpana Vaksin

Penyimpanan vaksin termasuk vaksin Sinovac terbilang mudah dan sederhana. Vaksin ini hanya perlu disimpan dalam lemari pendingin bersuhu antara 2 hingga 8 derajat Celsius. Vaksin corona Sinovac pun bisa bertahan hingga tiga tahun. Melalui Dirjen Pencegahan dan Pengendalian Penyakit atau P2P Kementerian Kesehatan Republik

Indonesia, pemerintah telah merilis Petunjuk Teknis Vaksinasi COVID-19.

Salah satu juknis ini juga mengatur tentang pelaksanaan penyimpanan vaksin, tidak terkecuali vaksin corona Sinovac pada suhu 2 °C – 8 °C. Hal yang perlu diperhatikan adalah tempat penyimpanan vaksin yang tidak boleh terkena paparan sinar matahari secara langsung. Lalu, guna menghindari terjadinya kesalahan ketika vaksin diambil, vaksin corona disimpan dalam rak yang terpisah dengan jenis vaksin lainnya.

Jika memang memungkinkan, vaksin Sinovac bisa disimpan dalam kulkas pendingin yang berbeda dengan vaksin yang diberikan rutin. Lalu, bagaimana dengan daerah distribusi yang belum memiliki pendingin untuk menyimpan vaksin Sinovac? Penyimpanan vaksin masih bisa dilakukan di lemari pendingin biasa yang bukan atas rekomendasi dari WHO.

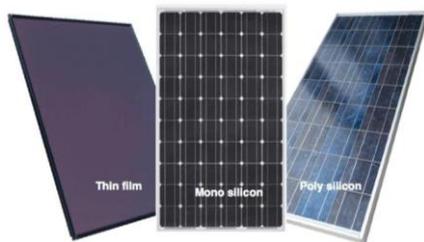
Potensi Energi Surya Di Indonesia

Letak geografis Indonesia di wilayah tropis atau sekitar khatulistiwa mempunyai waktu pencahayaan matahari terbanyak sepanjang tahun. Kondisi ini menyebabkan Indonesia memiliki potensi energi surya cukup besar yang mencapai 4,8 KWh m² atau setara dengan 112,999 GWp (AgroIndonesia, 2016). Potensi tenaga surya di Indonesia secara umum berada pada tingkat good (baik) yang dapat dijadikan sebagai salah satu patokan dalam pengembangan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS). Hampir seluruh daerah di Indonesia berpotensi untuk dikembangkan PLTS, dengan distribusi penyinaran daya rata-rata mencapai 4.8 kWh/m². Jumlah terbesar pada tingkat radiasi matahari berada di Indonesia Timur yaitu 5,1 kWh/m²/hari dengan variasi bulanan 9%, dan di bagian Indonesia Barat 4,5 kWh/m²/hari dengan variasi bulanan 10%.

Modul Surya

Rangkaian modul surya atau juga disebut larik atau *array* terdiri dari beberapa modul yang dihubungkan secara seri dan/atau paralel. Rangkaian ini mengubah radiasi sinar matahari yang mengenai seluruh permukaan rangkaian menjadi tenaga listrik. Modul surya adalah suatu komponen yang dapat digunakan untuk

mengubah energi cahaya matahari menjadi energi listrik dengan menggunakan prinsip yang disebut efek *photovoltaic* (Bagus Ramadhani, 2018).



Gambar 1. Jenis – Jenis Modul Surya

Solar Charge Controller

Solar Charge Controller (SCC) berfungsi mengubah keluaran dari panel surya untuk mencapai tingkat tegangan baterai dan mengendalikan proses pengisian baterai. Kapasitas *Solar Charge Controller* ditentukan berdasarkan arus maksimum yang dihasilkan oleh panel surya.

$$I_{SCC} > I_{mpp} \quad (1)$$

Gambar 2.6 merupakan *Solar Charge Controller* yang digunakan dalam penelitian.



Gambar 2. *Solar Charge Controller* (SCC)

Baterai

Baterai berfungsi menyimpan energi yang dihasilkan panel surya di siang hari. Kapasitas muatan baterai dalam satuan ampere-jam (Ah). Satuan energi (dalam Wh) dikonversikan menjadi Ah yang sesuai dengan satuan kapasitas baterai. Kapasitas (Ah) baterai dapat dihitung menggunakan persamaan berikut [13]:

$$C = \frac{W \times AD}{DoD \times V_s} \quad (2)$$

Dimana:

- C = Kapasitas baterai yang dibutuhkan (Ah).
- DoD (*Deep of Discharge*) = Kedalaman kapasitas yang dapat diambil dari baterai (%)
- W = Besar pemakaian energi listrik (Wh)
- AD = *Autonom Days* (Hari Otonomi).
- V_s = Tegangan sistem baterai (V)

Baterai yang digunakan adalah model VRLA-Deep Cycle Gelled Batteries, tipe LIP12100G, tegangan nominal 12 V dan kapasitas 100 Ah (gambar 2.7)



Gambar 4. Baterai

Inverter

Inverter berfungsi mengubah tegangan dc (*direct current*) baterai ke tegangan ac (*alternating current*). Adapun inverter yang digunakan dalam penelitian adalah TBE daya 3500 watt (gambar 2.8)

Spesifikasi inverter disesuaikan dengan *charge controller* yang digunakan. Tegangan masuk (*input*) dan tegangan keluar (*output*) dari inverter diketahui berdasarkan tegangan sistem dan nominal tegangan ac yang digunakan, yakni 220Volt [13].



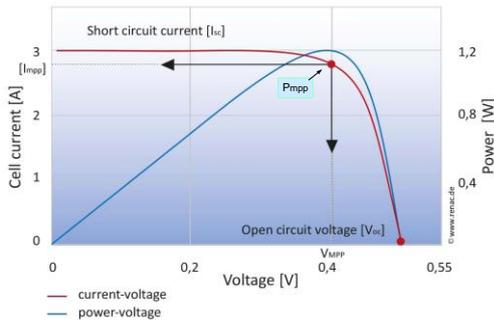
Gambar 3. Inverter

Parameter Pada Panel Surya

Parameter pada panel surya terdiri dari kurva I-V, *Maximum Power Point* (P_{mak}), *Open Circuit Voltage* (V_{oc}), *Short Circuit Current* (I_{sc}), *Fill Factor* (FF) dan efisiensi (η).

Kurva I – V

Gambar 2.9 menunjukkan Titik daya maksimum (*maximum power point*, MPP) dari panel surya.



Gambar 5. Kurva I – V [12]

Daya Maksimum

Daya maksimum (P_{mpp}) pada gambar 2.9 merupakan titik operasi yang menunjukkan daya maksimum hasil pertemuan I_{mpp} dan V_{mpp} yang dihasilkan oleh panel surya. Adapun nilai P_{mpp} dapat dihitung dengan persamaan berikut:

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

Tegangan Rangkaian Terbuka (V_{oc})

Tegangan rangkaian terbuka (V_{oc}) adalah kapasitas tegangan maksimum yang dapat dicapai pada saat tidak adanya arus listrik (arus = 0). Nilai V_{oc} diperoleh dari pengukuran terhadap tegangan (V) dilakukan pada terminal positif dan negatif dari panel surya dengan tidak menghubungkan panel surya ke beban.

Arus Hubung Singkat (I_{sc})

Arus hubung singkat (I_{sc}) adalah maksimum arus keluaran dari panel surya yang dapat dikeluarkan di bawah kondisi dengan tidak ada resistansi atau terhubung langsung. Nilai arus hubung singkat (I_{sc}) diperoleh dengan membuat terminal positif dan negatif menjadi rangkaian hubung singkat sehingga tegangannya menjadi nol menggunakan ampere meter.

Fill Factor (FF)

Nilai *Fill Factor* (FF) biasanya berkisar antara 0,25 hingga 0,89. Semakin besar nilai *Fill Factor* suatu panel surya, maka kinerja panel surya tersebut semakin baik dan efisiensi semakin tinggi. *Fill Factor* (FF) dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$FF = \frac{I_{mpp} \times V_{mpp}}{I_{sc} \times V_{oc}} \quad (4)$$

Efisiensi (η)

Efisiensi panel surya adalah perbandingan daya maksimum (P_{mpp}) panel surya dengan daya intensitas matahari. Nilai persentase efisiensi panel surya dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$\eta = \frac{P_{mpp}}{E \times A} \times 100 \% \quad (5)$$

Dimana:

E = Intensitas matahari (watt/m²)

A = Luas penampang panel surya (m²)

Energi Listrik

Energi listrik adalah hasil kali dari daya aktual dengan waktu (Simanjuntak. A, 2007). Secara matematis dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$W = P \times t \quad (6)$$

Dimana:

W = Energi listrik (watt jam)

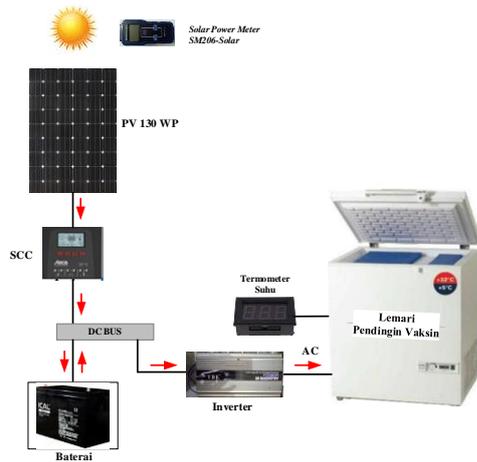
P = Daya listrik (watt)

t = waktu operasional beban listrik (jam)

2.2 Prosedur Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan beberapa tahap sebagai berikut:

1. Membuat rancangan konsep konfigurasi peralatan penelitian terkait dengan tata letak masing-masing komponen.
2. Pengumpulan alat/bahan dan selanjutnya membuat rangkaian yang mengacu pada konsep konfigurasi peralatan penelitian.
3. Melakukan eksperimen.
4. Pengambilan data intensitas matahari, arus *short circuit* (I_{sc}) dan tegangan *open circuit* (V_{oc}) panel surya, arus dan tegangan serta temperatur lemari pendingin vaksin.
5. Perhitungan energi listrik yang dihasilkan panel surya dan konsumsi energi listrik lemari pendingin vaksin.

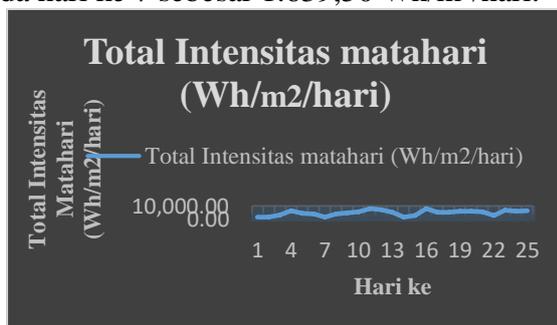


Gambar 6. Aparatus Penelitian

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil Pengukuran Intensitas Matahari

Grafik pada gambar 7 di atas menunjukkan bahwa intensitas matahari ($\text{Wh/m}^2/\text{hari}$) bervariasi, hal ini sangat dipengaruhi oleh faktor cuaca. Intensitas matahari tertinggi terjadi pada hari ke 11 sebesar $8.223,80 \text{ Wh/m}^2/\text{hari}$ dan yang terendah pada hari ke 7 sebesar $1.639,50 \text{ Wh/m}^2/\text{hari}$.



Gambar 7. Grafik Intensitas Matahari ($\text{Wh/m}^2/\text{hari}$).

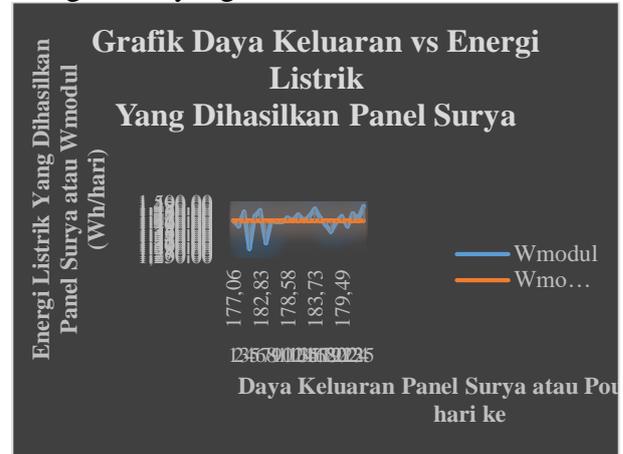
Menurut data dari Dewan Energi Nasional, potensi energi matahari di Indonesia mencapai rata – rata $4,80 \text{ kWh/m}^2/\text{hari}$, sedangkan di kawasan Timur Indonesia sekitar $5,10 \text{ kWh/m}^2/\text{hari}$.

Adapun perbedaannya adalah data hasil pengukuran lebih tinggi $0,17 \text{ kWh/m}^2/\text{hari}$ (3%) dari potensi energi matahari rata – rata di Indonesia dan lebih rendah $0,13 \text{ kWh/m}^2/\text{hari}$ (2,5%) dari Kawasan Timur Indonesia.

3.2 Hasil Perhitungan Energi Listrik Yang Dihasilkan Panel Surya

Gambar 8 merupakan grafik energi listrik yang dihasilkan oleh panel surya. Dari gambar

tersebut terlihat bahwa energi listrik yang dihasilkan panel surya berfluktuasi, hal ini sangat dipengaruhi oleh daya keluaran yang dihasilkan. Semakin besar daya yang dihasilkan panel surya, maka semakin besar pula energi listrik yang dihasilkan.



Gambar 8. Grafik Energi Listrik Yang Dihasilkan Panel Surya (Watt-Jam/Hari)

Gambar 8 merupakan grafik energi listrik yang dihasilkan oleh panel surya. Dari gambar tersebut terlihat bahwa energi listrik yang dihasilkan panel surya berfluktuasi, hal ini sangat dipengaruhi oleh daya keluaran yang dihasilkan. Semakin besar daya yang dihasilkan panel surya, maka semakin besar pula energi listrik yang dihasilkan.

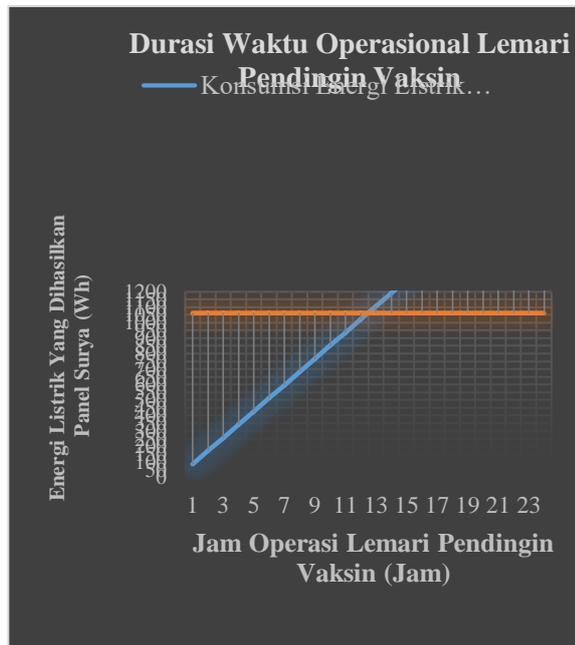
Energi listrik yang dihasilkan panel surya terendah adalah sebesar $1.285,47 \text{ wh/hari}$ yaitu pada hari ke 4, sedangkan tertinggi sebesar $1.483,02 \text{ wh/hari}$ yaitu pada hari ke 25. Rata – rata energi listrik yang dihasilkan panel surya per hari adalah sebesar 1.415 Wh . Nilai rata – rata energi listrik yang dihasilkan panel surya ini belum dikurangi *losses* pada jaringan dan peralatan listrik sebesar 25%. Jika nilai tersebut dikurangi *losses*, maka energi listrik yang dihasilkan panel surya yang dapat dipergunakan adalah 1.061 Wh .

3.3 Durasi Waktu Pengoperasian Lemari Pendingin Vaksin

Gambar 9 merupakan grafik konsumsi energi listrik lemari pendingin vaksin. Adapun grafik rata – rata energi listrik yang dihasilkan panel surya pada gambar 9 tersebut adalah

untuk mengetahui berapa durasi waktu PLTS mampu melayani lemari pendingin vaksin.

2. Penggunaan 1 panel surya 130 Wp mampu mengoperasikan lemari pendingin vaksin selama durasi waktu maksimum 12,5 jam.



Gambar 9. Grafik Durasi Waktu Operasional Lemari Pendingin Vaksin.

Grafik pada gambar 9 di atas menunjukkan, bahwa semakin lama waktu pengoperasian lemari pendingin vaksin maka konsumsi energi listrik semakin meningkat. Hal ini sesuai dengan persamaan, bahwa konsumsi energi listrik merupakan perkalian antara arus listrik, tegangan listrik dan waktu operasi peralatan. Berdasarkan titik potong grafik pada gambar 9 ditentukan lamanya durasi waktu pengoperasian lemari pendingin vaksin berdasarkan energi listrik dari PLTS sebesar 1.061 Wh/hari yang tersimpan di dalam baterai yaitu 12,5 jam.

Dari hasil di atas, maka penggunaan 1 panel surya 130 Wp mampu mengoperasikan lemari pendingin vaksin selama durasi waktu maksimum 12,5 jam dengan temperatur sesuai standar Depkes RI dan WHO sebesar $2^{\circ}\text{C} - 8^{\circ}\text{C}$.

4. KESIMPULAN

Dari hasil pengolahan data dan pembahasan, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Penggunaan 1 panel surya 130 Wp dengan rata – rata intensitas matahari sebesar $4.971,14 \text{ Wh/m}^2/\text{hari}$ dapat menghasilkan energi listrik sebesar 1.061 Wh.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Anggara, I.W.G.A, Kumara, I.N.S., Giriantari, I.A.D. 2014. Studi Terhadap Unjuk Kerja Pembangkit Listrik tenaga Surya 1,9 KW Di Universitas Udayana Bukit Jimbaran, Spektrum, 1(1): 118 – 122.
- [2] Benatiallah, A. et al. 2007. A simulation model for sizing PV installations. Desalination, 209(1), pp.97–101.
- [3] Bobby Palapia. 2017. 419 Desa di Maluku Belum Dialiri Listrik. Diakses 30 Agustus 2021 dari <https://www.kompas.id/baca/nusantara/2017/09/27/419-desa-di-maluku-belum-dialiri-listrik/>
- [4] Daryono Restu Wahono. 2015. The Process Measurement of Batteray Charge-Discharge to Know The Realibility of Voltage and Current of Solar Panel, Jurnal Instrumentasi, Vol.39, No.1.
- [5] Elieser Tarigan, Fitri Dwi Kartikasari. 2017. Analisa Potensi Atap Bangunan Kampus Sebagai Lokasi Penempatan Panel Surya Sebagai Sumber Listrik, Jurnal Muara Sains, Teknologi, Kedokteran, dan Ilmu Kesehatan Vol. 1, No. 1, hlm 101-110
- [6] ESDM. 2017. Panduan Pengoperasian Dan Pemeliharaan PLTS *Off-Grid*.
- [7] Firdaus, M.F. 2017. Kajian Potensi Energi Surya Di Indonesia, I Care Indonesia Foundation.
- [8] Harmini., Nurhayati, T. 2017. Desain Sistem Rooftop Off Grid Panel Solar Photovoltaic, Jurnal Pengembangan Rekayasa Dan Teknologi: 1 – 7.
- [9] Hasan, H. 2012. Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Di Pulau Saugi, Jurnal Riset dan Teknologi Kelautan, 10(2): 169-180.
- [10] Jefrin Sambara., dkk. 2017. Vaccine Storage Profile in Public Health Centers in Kupang City, Jurnal Info Kesehatan, Vol 15, No.2, Desember 2017, pp. 143-163 P-ISSN 0216-504X, E-ISSN 2620-536X.

- [11]Nuruddin, M., dkk. 2016. Pemanfaatan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Untuk Kotak Pendingin (*Cool Box*), Jurnal Teknik Energi, Vol. 6 no. 2.
- [12]Nyoman S. Kumara. 2010. Pembangkit Listrik Tenaga Surya Skala Rumah Tangga Urban Dan Ketersediaannya Di Indonesia, Jurnal Teknik Elektro, Vol.9, No.1.
- [13]Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 12 Tahun 2017 Tentang Penyelenggaraan Imunisasi.
- [14]Rachmawan Budiarto, dkk. 2017. Energi Surya Untuk Komunitas Meningkatkan Produktivitas Masyarakat Pedesaan Melalui Energi Terbarukan, KEMALA, LAKPESDAM-PBNU
- [15]Ramadhani, B. 2018. Instalasi Pembangkit Listrik Tenaga Surya, *Dos & Don'ts*.
- [16]Ruskardi. 2015. Kajian Teknis dan Analisis Ekonomis PLTS Off-grid Solar System sebagai Sumber Energi Alternatif, Jurnal ELKHA, Vol.7, No.1.
- [17]Salim Rumakefin. 2020. 75 Tahun Merdeka, Desa Kami Gelap Gulita. Diakses 30 Agustus 2021 dari <https://www.cnnindonesia.com/nasional/20200826150702-20-539552/demo-warga-se-ram-75-tahun-merdeka-desa-kami-gelap-gulita>
- [18]Simanjuntak,A., Lekalette,J. 2019. PLTS di Pulau Osi dan Permasalahannya, Prosiding ALE, hal.87 – 94.
- [19]USAID. 2018. Panduan Studi Kelayakan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Terpusat, Indonesia Clean Energy, Development II.
- [20]Zalmadi Syamsudin, dkk. 2017. Perencanaan Penggunaan PLTS Di Stasiun Kereta Api Cirebon Jawa Barat, Jurnal Energi & Kelistrikan, Vol.9. No.1.