

Karakteristik Pelayanan Daya Listrik *Solar Home System*

Suprianto

Politeknik Negeri Medan

Jl. Almamater No.1 KAMPUS USU, Padang Bulan, Kec. Medan Baru, Medan Sumatera Utara, 20155, Indonesia

e-mail: suprianto@polmed.ac.id

Abstrak— *Solar home system* merupakan pembangkit listrik alternatif pada rumah tangga yang ramah lingkungan dan tidak menimbulkan polusi. Karakteristik pelayanan daya listrik adalah bagian yang harus dipahami oleh perancang sistem pembangkit listrik tenaga surya. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik pelayanan daya listrik *solar home system* yang telah dirancang sebelumnya dengan perhitungan dan analisa yang cermat. Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah metode eksperimen yaitu melakukan pengukuran terhadap besaran listrik dan non listrik untuk merepresentasikan karakteristik pelayanan daya oleh *solar home system*. Peralatan yang digunakan yaitu panel surya 1600wp, inverter 1000 wat 24 volt, *solar charge controller* 60 ampere, baterai 350 Ah 24 volt dan peralatan ukur. Dari hasil penelitian diperoleh bahwa tegangan baterai pada saat pengisian dan pembebanan masih dalam batas mampu melayani kebutuhan listrik rumah tangga khusus lampu penerangan dengan daya 308 watt dengan energi listrik rata-rata yang dibutuhkan 2173 Wh selama 12 jam pembebanan dari sore hari pukul 18.00 wib hingga pagi hari pukul 06.00 wib. Sementara untuk pengisian baterai pada siang hari mampu menambah tegangan baterai rata-rata 2,83 volt pada tegangan nominal baterai 24 volt dengan intensitas rata-rata matahari sebesar 638 watt/m². Pelayanan daya oleh *solar home system* terpenuhi dan berlangsung kontiniu selama 24 jam dengan pembebanan yang dikhususkan hanya untuk lampu penerangan dengan total daya beban terpasang sebesar 308 watt. Penelitian ini dapat dijadikan sebagai acuan dan referensi untuk perhitungan, analisa dan pemasangan *solar home system*.

Kata kunci : Efisiensi, Modul Surya, Baterai, *Solar Charge Controller*, Inverter

Abstract— *Solar home system* is an alternative power generator for households that is environmentally friendly and does not cause pollution. The characteristics of the electric power service is a part that must be understood by the designer of a solar power generation system. This study aims to determine the characteristics of solar home system electric power services that have been designed previously with careful calculations and analysis. The method used in this study is an experimental method, namely measuring the electrical and non-electrical quantities to represent the characteristics of power service by the solar home system. The equipment used is a 1600wp solar panel, a 1000 watt 24 volt inverter, a 60 ampere solar charge controller, a 350 Ah 24 volt battery and measuring equipment. From the results of the study it was found that the battery voltage at the time of charging and loading was still within the limits of being able to serve household electricity needs, specifically for lighting with a power of 308 watts with an average electrical energy needed of 2173 Wh for 12 hours of loading from the afternoon at 18.00 WIB to morning day at 06.00 hrs. Meanwhile, charging the battery during the day can increase the average battery voltage of 2.83 volts at a nominal battery voltage of 24 volts with an average solar intensity of 638 watts/m². Power service by the solar home system is fulfilled and lasts continuously for 24 hours with a load that is specific only for lighting with a total installed load power of 308 watts. This research can be used as a reference and reference for calculations, analysis and installation of solar home systems.

Keywords : Power, Solar Module, Battery, SCC, Inverter

I. PENDAHULUAN

Pembangkit listrik tenaga surya memiliki dua keunggulan utama yaitu dapat digunakan untuk melindungi atap dari sinar matahari sehingga atap lebih tahan terhadap cuaca dan dapat digunakan untuk menghasilkan energi listrik. Keunggulan PLTS *rooftop* yang memanfaatkan lebar atap umumnya dapat memenuhi energi listrik di setiap bangunan. Bangunan dengan atap PV yang dipasang secara horizontal memiliki efisiensi tertinggi di musim panas, sedangkan bangunan dengan atap PV miring memiliki efisiensi tertinggi di musim dingin (Wang dkk., 2020).

Pembangkit listrik tenaga surya adalah sumber energi listrik yang berguna sebagai alternatif yang layak untuk energi yang dihasilkan secara konvensional. Pembangkit listrik tenaga surya dapat membantu masyarakat memenuhi kebutuhan listriknya tanpa bergantung pada layanan listrik pemerintah, yang terkadang terjadi beberapa kali saat terjadi pemadaman listrik. Potensi yang terjadi ketika hanya mengharapkan energi listrik dari sumber yang tidak dapat diperbaharui seperti minyak, gas dan lainnya yang akan mengakibatkan krisis energi. Biaya investasi pembuatan pembangkit listrik tenaga surya

mungkin sudah dirasa cukup mahal saat ini, sehingga masih belum banyak masyarakat yang mau memasang pembangkit listrik tenaga surya untuk kebutuhan listrik rumah tangganya (Lan dkk., 2021). Pembangkit listrik tenaga surya *on-grid* untuk kebutuhan konsumsi listrik harian dibangun untuk kelangsungan layanan listrik. Dari hasil pengukuran modul surya memiliki nilai efisiensi yang lebih rendah dibandingkan dengan nilai efisiensi yang terdapat pada papan nama panel surya. Suhu permukaan modul surya lebih tinggi dari suhu operasi optimal.

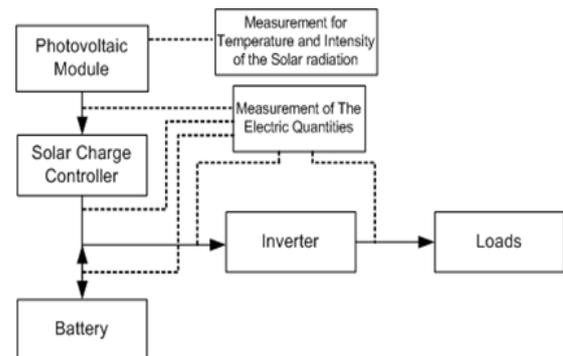
II. STUDI PUSTAKA

Sistem fotovoltaik (PV) merupakan sumber listrik alternatif yang menarik. Potensi solar PV di lokasi tertentu dapat dievaluasi melalui alat simulasi perangkat lunak untuk menilai kelayakan sistem fotovoltaik atap (Yadav & Bajpai, 2018). Pembangkit listrik tenaga surya adalah pembangkit listrik yang memanfaatkan sel surya untuk mengubah radiasi matahari menjadi energi listrik. Energi listrik diproses dari bagian yang tidak bergerak seperti generator diesel, uap, gas dan lain-lain. Pembangkit listrik tenaga surya relatif sederhana dibandingkan dengan jenis generator lainnya. Energi matahari merupakan sumber energi yang ramah lingkungan (Ummah dkk., 2021). Panel surya yang diletakkan di atas permukaan atap sebaiknya didesain untuk memberikan celah udara antara permukaan atap dan bagian bawah panel untuk sirkulasi udara agar tidak terjadi panas berlebih. Panel mengarah ke matahari dan tidak terhalang oleh penghalang seperti pohon dan bangunan (Murat Ates & Singh, 2021). Penggunaan energi surya terus meningkat secara signifikan dalam kapasitas terpasang selama beberapa tahun terakhir. Sebagian besar pembangkit listrik tenaga surya dipasang di atap, karena merupakan bagian bangunan yang paling tinggi sehingga sinar matahari tidak terhalang oleh bagian bangunan yang lain. Pesatnya perkembangan fotovoltaik membuatnya semakin penting untuk memahami kinerja dari keandalan. Salah satu masalah paling umum yang dihadapi dalam pembangkit listrik tenaga surya adalah radiasi yang tidak seragam atau berbayang sebagian. Konsekuensi dari *shading* tersebut dapat dicegah dengan menggunakan dioda bypass (Vieira dkk., 2020). Fotovoltaik adalah teknologi energi terbarukan yang berpotensi menggantikan sumber energi tak terbarukan dan telah menarik perhatian dunia dalam beberapa tahun terakhir, karena meningkatnya permintaan energi dan kekhawatiran tentang perubahan iklim. Analisis data diterapkan untuk mengidentifikasi parameter kinerja aktual berdasarkan radiasi matahari. Bangunan sekolah terutama untuk atap merupakan aset yang unik dan penting untuk implementasi sistem PV perkotaan, karena memberikan kombinasi area penggunaan yang relatif besar, tidak terpakai dan sesuai yang memungkinkan pembangkit listrik tenaga surya terdistribusi dan efektif untuk digunakan secara nasional (Al-Otaibi dkk., 2015). Memasang sistem panel surya atap adalah opsi yang paling menjanjikan untuk mengurangi biaya listrik dan biaya produksi

untuk keperluan industri. Pembangkit listrik tenaga surya 1,43 MWp telah dibangun di atas atap gedung, lengkap dengan diagram garis tunggal, spesifikasi teknis, diagram interkoneksi sistem tenaga surya atap yang terhubung ke jaringan dari titik pembangkitan ke titik jaringan yang dirancang. Pemasangan atap sistem panel surya adalah pilihan yang paling menjanjikan untuk mengurangi biaya listrik dan biaya produksi untuk keperluan industri.

III. METODE

Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah metode eksperimen yaitu dengan cara melakukan pengukuran terhadap besaran listrik dan besaran non listrik untuk mendapatkan kelayakan sebuah *solar home system* dalam pelayanan daya listrik. Pengukuran besaran listrik dan non listrik dapat digambarkan pada blok diagram pengukuran berikut ini.



Gambar 1. Blok Diagram Pengukuran

Pengukuran besaran listrik dan non listrik dilaksanakan setiap 15 menit sekali untuk setiap besaran yang akan diukur. Besaran yang diukur meliputi tegangan dan arus baterai. Melalui sejumlah 7 besaran listrik yang akan diukur dan dicatat sebagai data pokok, sehingga total data yang diambil dari hasil pengukuran untuk besaran listrik sebanyak 735 data untuk satu hari pengukuran yang selama 17 hari pengukuran sebanyak 12495 data pengukuran. Untuk besaran non listrik dalam hal ini intensitas matahari dan temperatur sebanyak 98 data hasil pengukuran, sehingga selama 17 hari pengukuran maka diperoleh data 1666 data hasil pengukuran. Dengan demikian jumlah total pengukuran yang dilaksanakan dalam penelitian ini sebanyak 14161 data pengukuran.

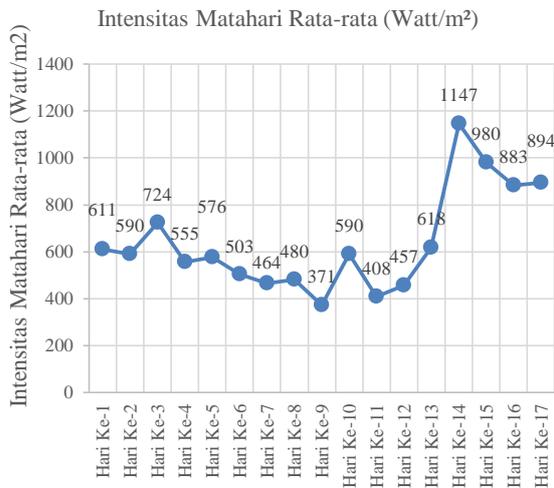
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Tabel 1. Data Hasil Pengukuran Besaran Listrik dan Intensitas Matahari

Waktu	Intensitas Matahari Rata-rata (Watt/m ²)	Penambahan Teg. Baterai (volt)	Rata-rata W.h selama 12 jam	Pengurangan Teg. Baterai (volt)
Hari Ke-1	611	1,28	2186	2,28
Hari Ke-2	590	3,34	2087	2,98
Hari Ke-3	724	1,77	2019	1,8
Hari Ke-4	555	0,23	2321	1,81
Hari Ke-5	576	2,73	2763	3,66

Hari Ke-6	503	3,22	2647	2,9
Hari Ke-7	464	2,66	2117	1,73
Hari Ke-8	480	1,57	2000	1,78
Hari Ke-9	371	1,81	2273	2,85
Hari Ke-10	590	2,78	1870	1,83
Hari Ke-11	408	4,13	2014	4,15
Hari Ke-12	457	4,59	1917	2,79
Hari Ke-13	618	2,49	2155	3,11
Hari Ke-14	1147	3,78	2232	3,7
Hari Ke-15	980	5,04	2019	3,88
Hari Ke-16	883	4,03	2155	4,07
Hari Ke-17	894	2,68	2165	2,68

Tabel 1 menunjukan hasil pengukuran besaran listrik yang dilaksanakan selama 17 hari dengan data yang ditampilkan, merupakan data rata-rata dari sejumlah besaran yang diukur. Pada tabel tersebut hanya ditampilkan nilai rata-rata dari sejumlah hasil pengukuran, hal ini dilakukan untuk menghindari terlalu banyaknya data yang ditampilkan pada bagian ini.



Gambar 2. Karakteristik Intensitas Matahari Rata-Rata Selama 17 Hari Pengukuran

Pengukuran intensitas matahari dilakukan selama 17 hari dengan melaksanakan pengukuran yang dimulai dari pagi hari pukul 06.00 wib hingga sampai sore hari pukul 18.00 wib. Pengukuran intensitas matahari dilaksanakan setiap 15 menit sekali yang berarti pula terdapat 49 kali pengukuran selama waktu dari pagi hingga sore hari. Pengukuran intensitas matahari dilaksanakan di dekat posisi panel surya ditempatkan bersama dengan alat pengukur suhu, namun dalam hal ini hasil pengukuran suhu tidak ditampilkan sekalipun juga dilaksanakan pengukuran suhu setiap 15 menit sekali yang berarti pula sebanyak 49 kali pengukuran suhu. Nilai pengukuran suhu yang ditampilkan pada tabel adalah merupakan nilai rata-rata yang didapat dari pengukuran sebanyak 49 kali pengukuran. Demikian juga begitu halnya dengan pengukuran pada hari yang lain. Pengukuran intensitas matahari menggunakan alat ukur intensitas matahari dengan satuan ukur Watt/m². Dari hasil

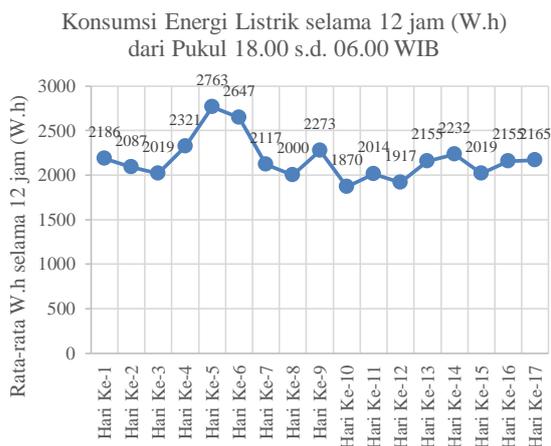
pengukuran menunjukkan bahwa intensitas matahari pada setiap harinya berfluktuasi sesuai dengan kondisi cuaca dan terik matahari. Secara umum, dapat dikatakan bahwa intensitas matahari mulai dapat memberikan daya listrik melalui panel surya untuk pengisian baterai dan suplay beban pada pukul 08.30 wib hingga pukul 16.00 wib. Namun hal ini sangat bergantung cuaca dan terik matahari. Nilai intensitas matahari berfluktuasi setiap menit bahkan setiap detik namun demikian perubahan tersebut tidak terlalu signifikan dalam hitungan detik. Fluktuasi dari intensitas matahari selain dari kondisi cuaca dan terik matahari juga bergantung pada posisi rotasi bumi, sehingga dapat diprediksi secara kasar nilai intensitas matahari dari waktu ke waktu intensitas matahari yang tertinggi terjadi pada hari ke-14 yaitu 1147 Watt/m². Pada saat pengukuran tersebut cuaca cerah dan matahari terik, sedangkan nilai intensitas terendah pada pengukuran hari ke-9 yaitu 371 Watt/m² yang pada saat pengukuran cuaca cerah sejuk namun kondisi matahari tidak terik.



Gambar 3. Karakteristik Penambahan Tegangan Baterai dari Pukul 06.00 WIB hingga 18.00 IB

Energi matahari dapat dikonversi menjadi energi listrik melalui solar sel yang terdapat pada panel surya, namun besarnya energi matahari yang dapat dikonversi oleh panel surya bergantung pada kemampuan panel surya itu sendiri baik dari luas permukaan panel surya atau rating panel surya maupun jenis panel surya yang digunakan. Semakin luas permukaan panel surya, maka daya listrik yang akan dihasilkan lebih besar. Selama permukaan bumi yang dapat dijangkau sinar matahari maka semua permukaan bumi yang terjangkau sinar matahari tersebut dapat dikonversi menjadi energi listrik dan menghasilkan daya listrik yang pastinya sangat besar. Namun permukaan panel surya yang semakin besar akan berbanding lurus dengan besarnya biaya yang

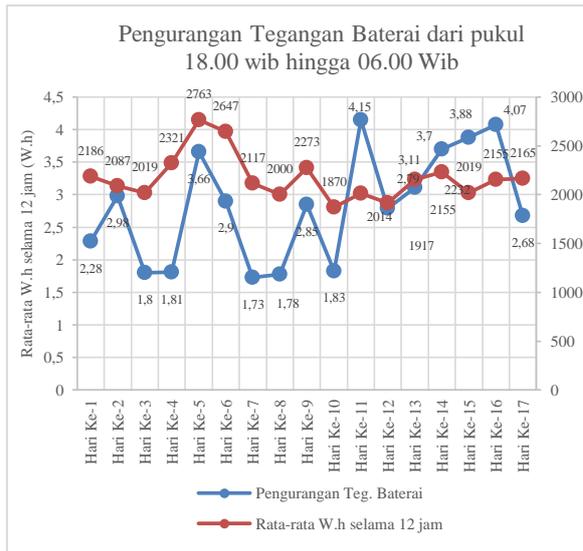
dikeluarkan untuk fabrikasi panel surya. Panel surya yang digunakan untuk mengisi baterai tegangannya harus lebih besar dari tegangan baterai agar arus dapat mengalir menuju baterai namun sebaliknya bila tegangan baterai lebih besar dari tegangan panel surya, maka arus suplay baterai akan menuju panel surya dan karena itu panel surya selalu dilengkapi dengan dioda pengaman agar panel surya pada suatu waktu tidak bertindak sebagai beban. Biasanya hal tersebut terjadi ketika malam hari dimana tidak ada sinar matahari dari 17 hari pengukuran untuk penambahan tegangan baterai selalu terjadi dari pukul 06.00 wib hingga pukul 18.00 wib atau penambahan tegangan pada baterai selalu positif atau pukul 18.00 wib tegangan baterai selalu lebih besar dari tegangan baterai pada pukul 06.00 wib sekalipun terjadi pembebanan pada siang harinya. Penambahan tegangan baterai terbesar terjadi pada pengukuran hari ke-15 yaitu sebesar 5,04 volt dari tegangan awal pada pukul 06.00 wib sebesar 22,3 volt menjadi bertambah 5,04 volt pada pukul 18.00 wib atau tegangan pada pukul 18.00 wib sebesar 27,27 volt kondisi intensitas matahari rata-rata saat itu adalah sebesar 980 watt/m² atau merupakan nilai intensitas matahari yang tertinggi setelah intensitas matahari pada hari ke-14 yaitu 1147 watt/m², namun penambahan tegangan baterai lebih tinggi pada intensitas matahari 980 watt/m². Hal ini disebabkan karena tegangan awal baterai pada intensitas matahari maksimum nilainya lebih rendah dan pembebanan pada siang hari lebih tinggi.



Gambar 4. Konsumsi Energi Listrik selama 12 jam (W.h) dari Pukul 18.00 s.d. 06.00 WIB

Pembebanan dengan total daya 308 watt terdiri dari beban lampu penerangan dengan variasi daya lampu 7 watt, 9 watt, 12 watt, 14 watt, 18 watt dan 30 watt yang tersebar di dalam dan luar ruangan. Penggunaan lampu tidak sepenuhnya digunakan secara serentak, namun tergantung kebutuhan penerangan pada setiap ruang sehingga daya 308 watt dari sejumlah lampu tidak sekaligus dinyalakan secara bersama-sama. Pada pukul 06.00 wib penggunaan lampu dominan

digunakan hingga pukul 23.00 wib, namun pada pukul 23.00 wib hingga pagi hari penggunaan lampu hanya digunakan untuk lampu yang dipanjar pada luar ruangan dan hanya beberapa yang ada didalam ruangan seperti lampu kamar mandi dan lampu kamar tidur sehingga apabila dirata-ratakan penggunaan lampu hanya digunakan sebesar 180 watt selama 17 hari pengukuran atau 58% lampu yang digunakan untuk total waktu pemakaian selama 12 jam sekalipun penggunaan lampu secara rata-rata ada yang sampai 230 watt. Dengan pelayanan beban rata-rata 180 watt selama 17 hari pengukuran, maka baterai masih mampu dalam melayani pembebanan tersebut. Dalam bentuk energi listrik maka daya watt rata-rata dikalikan dengan lamanya pembebanan, sehingga energi listrik yang terpakai untuk pelayanan lampu penerangan rata-rata dalam 17 hari pengukuran adalah 2173 Wh. Terlihat dari hasil pengukuran yang ditampilkan pada grafik, bahwa tidak ada pembebanan yang sama selama 17 hari. Hal ini menunjukkan bahwa pembebanan untuk satu rumah sangat fluktuatif bergantung pada saat kapan lampu dinyalakan dan dimatikan oleh pemilik rumah pembebanan rata-rata yang paling rendah selama 17 hari adalah 1870 Wh pada hari ke 10 yang karena pembebanan tersebut tegangan baterai turun sebesar 1,83 volt dari tegangan baterai semula pada pukul 18.00 wib sebesar 25,57 volt turun menjadi 23,74 volt pada pukul 18.00 wib. Sedangkan untuk pembebanan tertinggi terjadi pada hari ke-5 dengan penurunan tegangan sebesar 3,66 volt dari tegangan awal pada pukul 18.00 wib sebesar 26,08 volt menjadi 22,37 volt pada pukul 06.00 wib. Secara keseluruhan penurunan tegangan baterai rata-rata selama 17 hari pengukuran adalah 2,82 volt untuk pembebanan rata-rata sebesar 2173 Wh. Salah satu kelemahan pembangkit listrik tenaga surya adalah penggunaan baterai yang harganya cukup mahal dibandingkan dengan komponen lainnya. Namun kelemahan tersebut dapat diatasi bila harga baterai kedepan sudah menjadi murah. Seiring dengan sifat kondisi alam, dimana siang hari adalah saat munculnya matahari menyinari dunia dan pada malam harinya waktunya matahari tenggelam. Ketika matahari tenggelam, maka tidak ada sedikitpun energi matahari yang dapat dimanfaatkan untuk membangkitkan listrik karena itu perlu sangat menjaga keberlangsungan pelayanan listrik dari energi matahari dengan cara menyimpan energi listrik dari hasil penyinaran matahari pada siang hari.



Gambar 5. Karakteristik Pengurangan Tegangan Baterai dari pukul 18.00 WIB hingga 06.00 WIB

Penyinaran matahari akan sangat potensial untuk membangkit energi matahari yang sangat besar yang berbanding lurus dengan luas penyinaran matahari ke permukaan panel surya kemampuan baterai dalam menyimpan energi listrik dari hasil energi matahari sangat bergantung kepada kemampuan baterai dalam menyimpan energi listrik dalam satuan Ampere-Hour (Ah). Tegangan kerja baterai yang diterapkan adalah 24 volt yaitu sebagai tegangan yang diperoleh dari hasil seri 2 unit baterai 12 volt. Pada saat siang hari baterai dapat bersifat beban dan dapat bertindak sebagai sumber. Sebagai beban ketika tegangan baterai kurang dari 24 volt sehingga sistem melalui *solar charge controller* mengisi baterai ketika energi matahari cukup untuk membebani beban listrik dan selebihnya dapat digunakan untuk mengisi baterai. Ketika energi matahari tidak maksimal maka baterai dapat bersama-sama dengan panel surya menyuplai beban. Ketika pukul 18.00 wib maka tidak ada panel surya yang mampu memberikan energi listrik ke beban karena sinar matahari cenderung atau nyaris sudah tidak ada, pada saat itu baterai langsung bertindak sebagai sumber listrik tunggal hingga pagi hari, kemampuan baterai dalam melayani beban tergantung dari pada kapasitas baterai, jumlah daya beban yang dilayani, lama pelayanan, dan tegangan awal baterai. Dari 17 hari pengukuran, maka penurunan tegangan baterai terendah yaitu pada hari ke-4 yang melayani beban selama 12 jam tanpa sumber lain dengan rata-rata beban yang dilayani sebesar 193 watt. Sekalipun pembebanan tidak terlalu kecil dibandingkan hari yang lain namun tegangan baterai pada saat pukul 18.00 wib sudah dalam keadaan mantap atau pada siang hari pengisian ke baterai oleh panel surya sudah maksimum, sehingga tegangan pada saat pukul 18.00 wib sudah mencapai 25,12 volt.

V. KESIMPULAN

Pembangkitan daya listrik *solar home system* senantiasa disesuaikan dengan kebutuhan daya listrik untuk konsumen listrik rumah tangga. Perencanaan *solar home system* yang tidak secara akurat dan tepat akan menyebabkan pelayanan daya listrik dari PLTS yang tidak maksimal serta biaya yang mahal, namun tidak sesuai dengan hasil yang diharapkan. Untuk pelayanan daya oleh *solar home system* sebaiknya digunakan untuk pelayanan daya listrik lampu penerangan. Jika penggunaan hanya dikhususkan untuk pelayanan daya pada siang hari, maka *solar home system* akan lebih murah dan tentunya banyak pelayanan yang dapat dipenuhi selama siang hari namun jika pelayanan daya dimaksudkan selama 24 jam pelayanan maka sebaiknya menghitung secara tepat kebutuhan baterai terhadap beban terpasang. Untuk beban lampu penerangan total sebesar 308 watt dapat digunakan *solar home system* dengan kapasitas 1600 wp dan kapasitas baterai 350 Ah 24 volt serta inverter yang berkapasitas 1000 watt sampai kepada SCC 60 ampere untuk tegangan 24 volt. Dengan intensitas matahari rata-rata 638 watt/m² dan penggunaan kebutuhan energi listrik rata-rata 2173 Wh selama 12 jam, maka kontinuitas pelayanan daya masih aman. Tegangan baterai saat digunakan hingga pagi hari masih dalam batas aman dalam pelayanan beban yaitu pada tegangan 21,03 volt. Sementara itu juga, penambahan tegangan baterai akibat pengisian pada siang hari oleh panel surya dengan kapasistas maksimum yang didapatkan sebesar 27,27 volt.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Al-Otaibi, A., Al-Qattan, A., Fairouz, F., & Al-Mulla, A. "Performance evaluation of photovoltaic systems on Kuwaiti schools' rooftop. *Energy Conversion and Management*, , <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2015.02.039>, 2015.
- [2] Lan, T. T., Jirakiattikul, S., Niem, L. D., & Techato, K. The intention of households in the Daklak province to instal smart grid rooftop solar electricity systems. *Energy, Sustainability and Society*, <https://doi.org/10.1186/s13705-021-00297-2>, 2021.
- [3] Murat Ates, A., & Singh, H. Rooftop solar Photovoltaic (PV) plant – One year measured performance and simulations. *Journal of King Saud University - Science*, 33(3). <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2021.101361>, 2021.
- [4] Ummah, H. F., Setiati, R., Dadi, Y. B. V., Ariq, M. N., & Malinda, M. T. Solar energy as natural resource utilization in urban areas: Solar energy efficiency literature review. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 780(1).

- <https://doi.org/10.1088/1755-1315/780/1/012007>, 2021.
- [5] Vieira, R. G., de Araújo, F. M. U., Dhimish, M., & Guerra, M. I. S. . A comprehensive review on bypass diode application on photovoltaic modules. In *Energies* (Vol. 13, Issue 10). <https://doi.org/10.3390/en13102472>, 2020.
- [6] Wang, D., Qi, T., Liu, Y., Wang, Y., Fan, J., Wang, Y., & Du, H.. A method for evaluating both shading and power generation effects of rooftop solar PV panels for different climate zones of China. *Solar Energy*, 205. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2020.05.009>, 2020.
- [7] Yadav, S. K., & Bajpai, U. Performance evaluation of a rooftop solar photovoltaic power plant in Northern India. *Energy for Sustainable Development*,43. <https://doi.org/10.1016/j.esd.2018.01.006>, 2018.