

Desain Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya Off-Grid untuk Catu Daya Sistem Refrigerasi

Andriyanto Setyawan¹, Tandi Sutandi¹, Markus¹

¹ Jurusan Teknik Refrigerasi dan Tata Udara, Politeknik Negeri Bandung

Korespondensi : andriyanto@polban.ac.id

ABSTRAK

Tulisan ini membahas pemanfaatan energi matahari cukup melimpah di Indonesia karena letak geografisnya di daerah tropis. Pada penelitian ini, energi matahari dimanfaatkan untuk mencatu daya mesin refrigerasi yang banyak dibutuhkan di Indonesia. Peralatan yang digunakan sebagai penelitian adalah panel surya berkapasitas 200 WP, *solar charge controller*, baterai, inverter, dan mesin refrigerasi kecil dengan kebutuhan daya total 120 W. Daya rata-rata yang diperoleh adalah 106.4 Watt dengan tingkat radiasi matahari rata-rata 352 W/m². Energi pengisian baterai berdasarkan hasil eksperimen diperoleh sebesar 396 Wh. Energi ini mampu menyuplai daya untuk mesin refrigerasi 3.3 jam dengan rating daya kompresor sebesar 100 Watt jika mesin bekerja terus menerus. Jika mesin refrigerasi memiliki siklus on/off dengan tingkat penggunaan 40%, maka energi tersebut dapat menyuplai mesin refrigerasi selama 8.25 jam.

Kata kunci: pembangkit listrik tenaga surya, mesin refrigerasi, radiasi matahari

ABSTRACT

This paper discusses the use of solar energy that is easily found in Indonesia due to its geographical location in tropical area. In this research, the solar energy was utilized to supply energy for the operation of refrigeration machine that highly required in Indonesia. This research employed solar panels with a capacity of 200 WP, solar charge controller, battery, and inverter, to supply energy for a mini refrigerator. The average power resulted from the experiment is 106.4 Watt with the average solar irradiation of 352 W/m². The energy for the charging of the battery is 396 Wh. This is sufficient for supplying the refrigerating machine for 3.3 hours if the machine runs continuously. If the machine has an on/off cycle with the utilization factor of 40%, the energy could run the machine for 8.25 hours.

Keyword : solar panel system, refrigeration machine, solar radiation

1. PENDAHULUAN

Mesin pendingin dan tata udara memegang peranan sangat penting dalam kehidupan manusia saat ini. Mesin-mesin tersebut memiliki kontribusi dalam bidang kenyamanan dan kesehatan manusia, transportasi, industri manufaktur, pertanian, perikanan, makanan, teknologi informasi, farmasi, semikonduktor, dan lain-lain [1]. Hampir semua mesin pendingin dan tata udara di Indonesia menggunakan catu daya listrik dari Perusahaan Listrik Negara (PLN). Sayangnya, masih banyak kawasan yang belum memiliki akses untuk energi. Sebagai gambaran, masih ada kira-kira 50% desa di Indonesia yang belum teraliri listrik, khususnya kawasan Indonesia Timur [2]. Oleh karena itu, upaya untuk menyediakan energi alternatif bagi mereka yang belum memiliki akses terhadap listrik PLN sangat diperlukan. Salah satu alternatif yang dapat dipergunakan adalah energi surya, karena Indonesia memiliki radiasi surya yang cukup besar, hingga 7.54 kWh/m² (untuk daerah Kupang). Khusus untuk daerah Bandung, radiasi surya berkisar antara 4.37 hingga 5.35 kWh/m², sebuah potensi yang cukup besar untuk dimanfaatkan [3,4,5,6].

Saat ini, pembangkit listrik tenaga fosil masih mendominasi pasokan listrik di negara-negara berkembang. Sementara itu, pasokan bahan bakar fosil semakin berkurang. Selain itu, penggunaan bahan bakar fosil akan berdampak pada pemanasan global dan efek rumah kaca. Oleh karena itu, porsi penggunaan bahan bakar fosil harus dikurangi dan energi alternatif terus didorong untuk dikembangkan, khususnya untuk sektor pendingin dan pengkondisian udara [7]. Penggunaan energi surya ini merupakan solusi logis karena semakin besar intensitas surya (artinya semakin besar listrik yang dihasilkan dari panel surya), semakin besar pula pasokan energi yang dibutuhkan oleh mesin pendingin [8].

Matahari merupakan sumber energi yang melimpah dan sangat ramah bagi lingkungan. Ini berdampak pada meningkatnya popularitas matahari sebagai sumber energi alternatif. Panel surya yang dihasilkan pun semakin meningkat efisiensinya dan semakin murah harganya [9]. Data dari European Photovoltaic Industry Association [10] menunjukkan bahwa harga panel surya turun hingga 75% dalam

waktu kurang dari 10 tahun. Hal ini membuat pembangkit listrik dengan memanfaatkan energi surya semakin diminati [11].

Selain memiliki potensi energi surya yang menjanjikan, potensi perikanan Indonesia juga sangat melimpah. Namun demikian, kesejahteraan nelayan masih dapat dikatakan kurang [12,13,14]. Hal ini antara lain disebabkan nelayan tradisional tidak memiliki modal dan akses energi yang cukup untuk mendukung kegiatan penangkapan ikan. Hasil tangkapan mereka harus segera dibawa ke darat untuk dijual agar tidak membusuk. Hal ini antara lain dapat diatasi apabila nelayan memiliki mesin pendingin untuk mengawetkan hasil tangkapan mereka. Mesin ini akan lebih bermanfaat lagi apabila dapat digunakan dengan memanfaatkan potensi energi yang melimpah dan murah, yaitu matahari. Dengan adanya mesin pendingin bertenaga surya, para nelayan dapat berlayar lebih lama dan lebih jauh menuju titik-titik tangkapan yang potensial tanpa khawatir hasil tangkapan mereka membusuk.

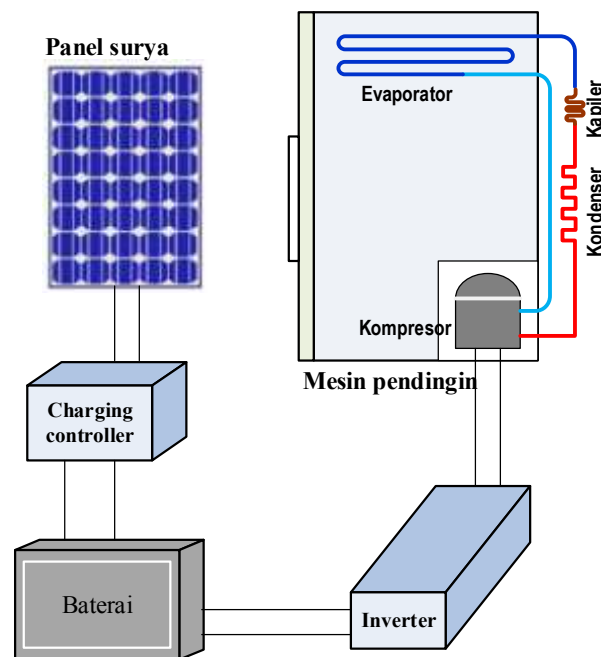
Penggunaan energi surya untuk pendinginan dan pemanasan memiliki potensi yang sangat besar dan ekonomis [15]. Namun demikian, masih sedikit kajian yang telah dilakukan untuk bidang ini [16]. Oleh karena itu, penggunaan tenaga surya untuk keperluan pendinginan layak untuk dikaji dan dikembangkan. Selain dapat menyediakan energi mandiri bagi masyarakat, energi surya juga dapat digunakan untuk menambah keandalan pasokan energi bagi wilayah yang belum teraliri listrik atau pasokan listriknya masih belum kontinyu [17].

Energi listrik dari panel surya dapat dimanfaatkan untuk memberikan catu daya bagi mesin-mesin pendingin kompresi uap, baik dengan catu daya bolak-balik (AC) maupun catu daya searah (DC). Salah satu pemanfaatan yang dapat memberikan nilai tambah yang tinggi adalah pada daerah-daerah yang belum mendapatkan pasokan listrik yang memadai, misalnya pada daerah pesisir di pedesaan.

Penelitian ini bertujuan mengkaji kelayakan penggunaan energi surya di Indonesia, untuk mencatu daya suatu mesin refrigerasi daya kompresor nominal 100 W. Hasil pengujian dan kelayakan disampaikan pada bagian akhir dari tulisan ini.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan di atap lantai III Gedung Kuliah Jurusan Teknik Refrigerasi dan Tata Udara, Politeknik Negeri Bandung. Penelitian dilakukan antara bulan April 2018 hingga Agustus 2018. Skema dari penelitian dapat dilihat pada Gambar 1. Energi matahari berupa listrik arus searah yang diterima oleh panel surya masuk ke *solar charge controller* (SCC). SCC berfungsi untuk mengatur tegangan dan arus pengisian ke baterai. Listrik arus searah dari baterai 12 V kemudian diubah menjadi listrik arus bolak-balik oleh inverter. Keluaran inverter diharapkan memiliki tegangan sesuai dengan tegangan kerja mesin pendingin, yakni 220 V. Energi listrik inilah yang selanjutnya mencatu daya mesin pendingin.



Gambar 1. Skema penelitian pemanfaatan energi surya untuk mesin pendingin dengan kompresor AC.

Pada penelitian ini digunakan mesin refrigerasi daya nominal kompresor 100 W untuk operasional selama 6 jam per hari. Dengan adanya tambahan peralatan kontrol dan lampu-lampu penunjuk yang diperkirakan memiliki kebutuhan daya 20 W, maka dibutuhkan daya total 120 W. Jika mesin dioperasikan dalam waktu 6 jam, maka ditentukan kebutuhan energi sebesar $120 \text{ W} \times 6 \text{ h} = 720 \text{ Wh}$. Dengan mempertimbangkan kerugian yang dialami oleh sistem pembangkit sebesar 30% (atau hanya 70% yang terpakai), maka kebutuhan energi untuk mesin refrigerasi sebesar $W = 720 + (720 \times 0.3) = 936 \text{ Wh}$.

Kapasitas panel yang dibutuhkan dihitung dengan

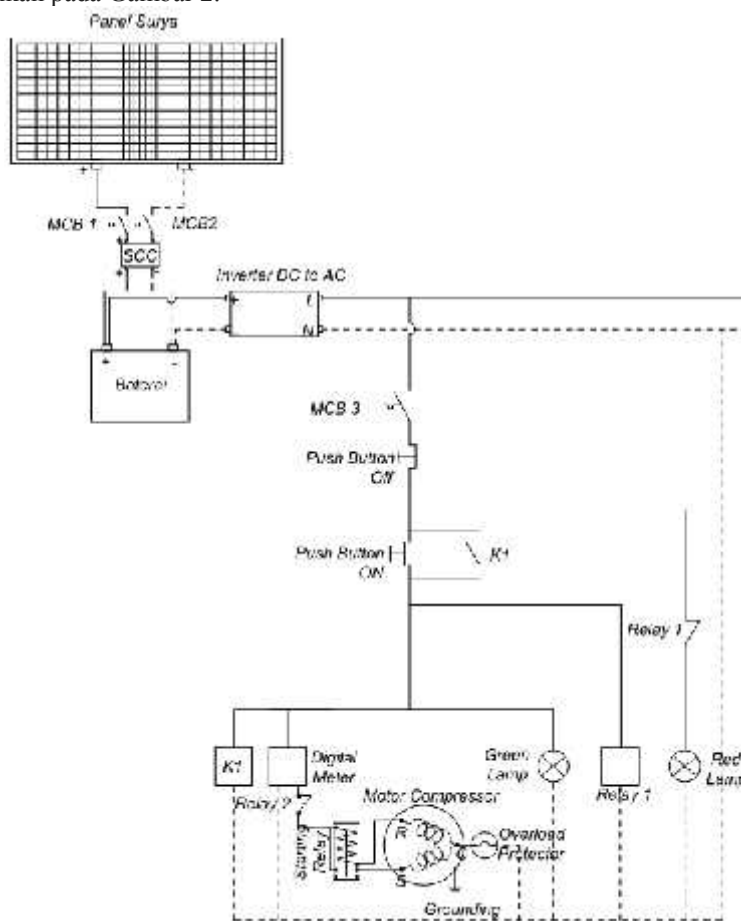
Lama penyinaran panel surya	= 6 jam
Kebutuhan daya panel surya	= $936/6 = 156 \text{ Watt peak (WP)}$
Daya tiap satuan panel	= 50 WP
Jumlah panel surya yang dibutuhkan	= $156/50 = 3.12$, dibulatkan ke atas menjadi 4 buah

Kapasitas baterai yang dibutuhkan dihitung dengan cara di bawah. Jika digunakan baterai dengan tegangan 12 V, maka perhitungannya adalah:

Tegangan baterai	= 12 V
Kebutuhan energi per hari	= 780 Wh
Kapasitas total baterai	= $780/12 = 65 \text{ Ah}$

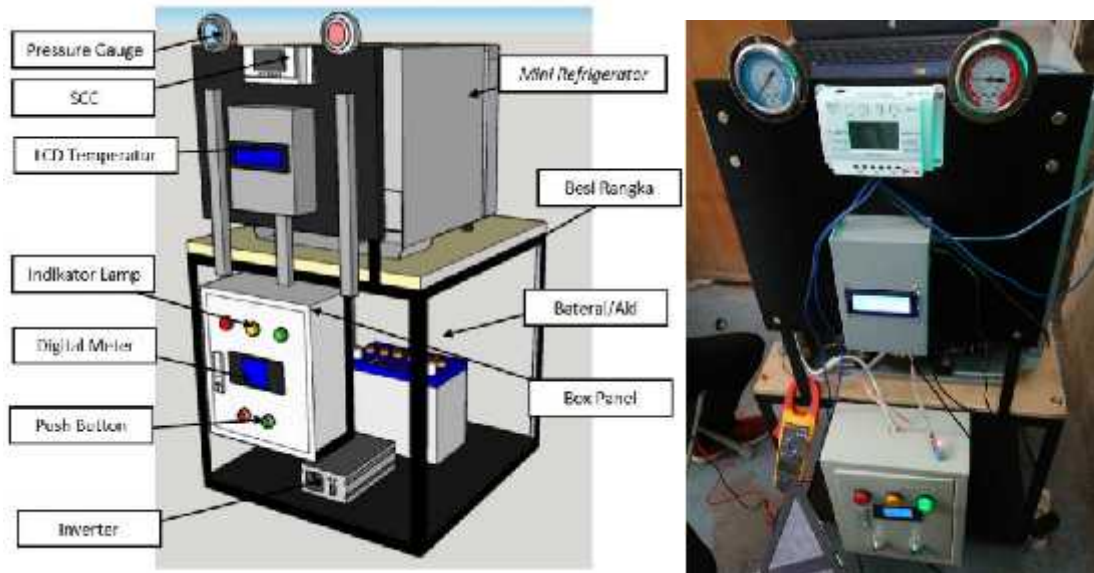
Panel surya yang digunakan memiliki kemampuan menghasilkan tegangan maksimum 28.6 V dan arus 2.9 A per panel. Oleh karena itu kemudian dipilih SCC dengan kemampuan arus maksimum 20 A. SCC berfungsi membatasi arus dari panel surya ke baterai. Alat ini juga mempunyai fungsi untuk melindungi baterai dan menghentikan aliran listrik secara otomatis jika baterai telah penuh. Teknologi yang digunakan pada SCC umumnya adalah MPPT, *maximum power point tracking*, yang mengontrol panel surya untuk menghasilkan daya maksimum

Inverter yang dipilih memiliki daya 500 W meskipun daya puncak yang digunakan maksimum hanya 156 W. Pertimbangan ini diambil dengan dasar agar inverter dapat bekerja di bawah beban maksimumnya sehingga lebih awet. Selain itu, pemilihan ini juga mempertimbangkan penambahan beban yang mungkin saja dilakukan di penelitian selanjutnya. Diagram kelistrikan selengkapnya untuk penelitian ini diberikan pada Gambar 2.



Gambar 2. Skema kelistrikan penelitian.

Perangkat penelitian dilengkapi dengan MCB pembatas arus, saklar push-button, kontaktor, modul relay, dan digital meter. Selain itu, perangkat juga dilengkapi dengan mikro kontroler arduino mega 2560, sensor temperatur DS-18B-20, dan display LCD untuk menampilkan hasil pembacaan dan input data. Alat ukur tekanan refrigeran juga dipasang pada mesin pendingin untuk mengetahui nilai tekanan pada saluran isap dan saluran buang. Detail visualisasi dari perangkat eksperimen diberikan pada Gambar 3.

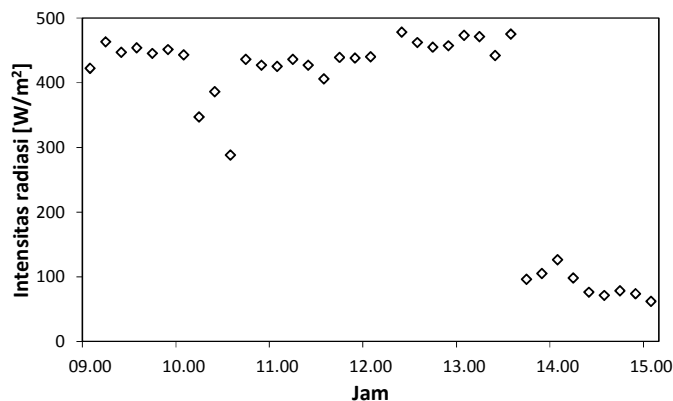


Gambar 3. Detail perangkat eksperimen.

3. HASIL DAN ANALISIS

Hasil eksperimen mengenai penggunaan pembangkit listrik tenaga surya disampaikan pada uraian berikut ini. Bagian ini membahas potensi radiasi matahari, tegangan, arus, dan daya yang dihasilkan, kemampuan panel surya dalam mencatu daya ke baterai, dan kemampuan baterai dalam mencatu daya mesin refrigerasi.

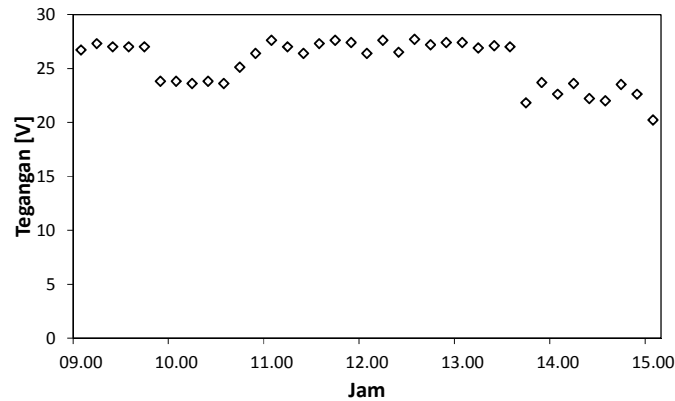
Gambar 4 menjelaskan besarnya radiasi matahari dalam satuan Watt/m² sebagai fungsi dari jam penggunaan. Data diambil mulai dari jam 9.00 hingga 15.00. Intensitas radiasi matahari rata-rata yang dihasilkan pada eksperimen ini adalah 352 W/m². Intensitas maksimum yang dihasilkan adalah 510 Watt/m² pada pukul 12.10 sedangkan intensitas minimum diperoleh sebesar 62 Watt/m² pada pukul 15.00 saat sudut kemiringan matahari telah besar. Dari data yang diperoleh, terlihat bahwa intensitas radiasi matahari yang diterima oleh alat ukur berfluktuasi mengikuti perubahan cuaca dan posisi matahari. Intensitas penyinaran yang relatif tinggi diperoleh pada rentang waktu pukul 10.40 hingga 13.40.



Gambar 4. Variasi intensitas radiasi matahari.

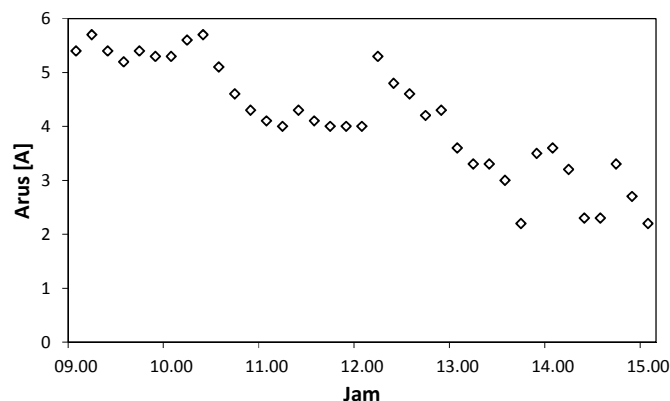
Data yang diperoleh berikutnya adalah tegangan DC keluaran panel surya. Rata-rata tegangan DC yang dihasilkan adalah 25.5 Volt, dengan nilai maksimum 27.7 Volt dan minimum 20.2 Volt. Hasil yang

diperoleh mengikuti perolehan intensitas radiasi matahari. Pada awal pengujian, antara pukul 9.00 hingga 9.40, rata-rata tegangan yang dihasilkan adalah 27 V. Antara pukul 9.50 hingga 10.30, rata-rata tegangan yang dihasilkan turun hingga menjadi 23.7 V. Ini terjadi saat awan menghalangi cahaya matahari ke bumi. Setelah itu, antara pukul 11.00 hingga 13.30 tegangan stabil pada rata-rata 27.2 V. Karena muncul awan yang bergerak relatif cepat, antara pukul 13.40 hingga 15.00 radiasi matahari turun dan tegangan yang dihasilkan pun turun pada rata-rata 22.5 V. Meskipun data intensitas radiasi menunjukkan fluktuasi yang tajam, namun data tegangan menunjukkan bahwa variasi yang terjadi tidak begitu ekstrem.



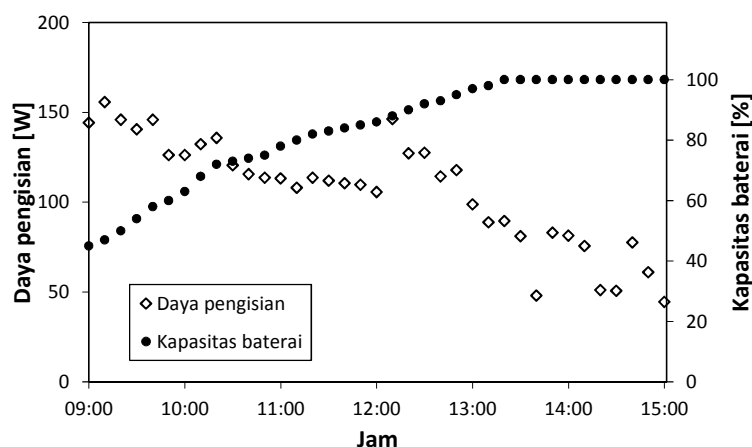
Gambar 5. Tegangan DC yang diperoleh dari panel surya.

Energi listrik yang dihasilkan oleh panel surya selanjutnya dikirimkan ke baterai. Arus yang dicatu ke dalam baterai diberikan pada Gambar 6. Setelah pukul 11.00, nilai arus cenderung menurun saat kapasitas baterai telah mencapai 80%. Kenaikan intensitas radiasi pada pukul 12.10 menyebabkan arus pengisian kembali naik sesaat. Arus ini kemudian terus turun hingga akhir pengisian pukul 15.00.



Gambar 6. Arus yang dicatukan ke baterai.

Penurunan arus yang terjadi pada rentang antara pukul 09.00 hingga 12.00 dan pukul 12.10 hingga 15.00 menyebabkan daya pengisian baterai juga turun, sebagaimana dapat dilihat pada Gambar 7. Pengisian baterai 60 Ah dimulai pada saat kapasitas baterai 45%. Secara umum, penurunan daya pengisian baterai memiliki korelasi dengan kapasitas baterai. Semakin besar kapasitas baterai, semakin kecil daya yang dapat dikirimkan ke baterai. Dengan kapasitas nominal baterai 60 Ah, maka energi yang dapat disimpan adalah $12V \times 60 Ah = 720 Wh$. Karena baterai mulai diisi pada saat berkapasitas 45%, maka jumlah energi yang diberikan kepada baterai adalah $55\% \times 720 Wh = 396 Wh$. Karena kapasitas baterai telah mencapai 100% pada pukul 13.20, maka lama pengisian hingga penuh adalah 4 jam 20 menit atau 4.33 jam. Daya yang diperoleh sebesar 396 Wh ini mampu mengoperasikan mesin refrigerasi selama $396 Wh / 120 W = 3.3$ jam atau 3 jam 20 menit. Karena mesin refrigerasi memiliki siklus on/off, maka waktu operasional yang dapat dilayani tentu akan lebih lama lagi. Sebagai gambaran, National Grid menyatakan bahwa waktu operasi refrigerator dengan defrost rata-rata adalah 40%. Dengan demikian, dari pengisian baterai selama 4 jam 20 menit dapat digunakan oleh refrigerator selama $3.3 jam / 40\% = 8.25$ jam. Dalam kurun waktu tersebut, jika tidak mendapat pasokan energi, energi baterai 60 Ah akan berkurang dari semula 720 Wh (100%) menjadi 324 Wh.



Gambar 7. Daya pengisian dan kapasitas baterai.

4. KESIMPULAN

Dari hasil eksperimen diperoleh bahwa sistem panel surya dengan kapasitas nominal 200 Wp dapat digunakan untuk mengisi baterai dengan energi sebesar 396 Wh dalam waktu 4.33 jam. Energi sebesar ini dapat dimanfaatkan untuk menjalankan mesin refrigerasi dengan kebutuhan daya 120 W selama 3.3 jam jika mesin beroperasi terus-menerus. Jika mesin menggunakan siklus on/off dan dilengkapi dengan defrost, dan waktu rata-rata operasi 40%, maka jumlah energi tersebut dapat mengoperasikan mesin refrigerasi selama 8.25 jam.

UCAPAN TERIMA KASIH (10 PT)

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Kementerian Riset, Teknologi, dan Pendidikan Tinggi atas bantuan biaya yang diberikan untuk pelaksanaan penelitian ini melalui Skema Penelitian Terapan Unggulan Perguruan Tinggi dengan Nomor Kontrak 237.19/PL1.R7/LT/2018, 27 Maret 2018.

DAFTAR PUSTAKA (10 PT)

- [1] American Society of Heating, Refrigerating, and Air Conditioning Engineers, ASHRAE Handbook of Applications, ASHRAE, Atlanta, 2015.
- [2] <https://m.tempo.co/read/news/2016/05/21/090772892/separuh-desa-di-indonesia-belum-teraliri-listrik>
- [3] Jacob, G. Solar resources in Indonesia. Solar Energy Technology. Training Course on Renewable Energy Part II – MEMR CASINDO, 2010.
- [4] Rumbayan, M., K. Nagasaka, 2011. *Estimation of Daily Global Solar Irradiation in Indonesia with Artificial Neural Network (ANN) Method*. Proceeding of the International Conference on Advanced Science, Engineering and Information Technology 2011.
- [5] Rumbayan, M., A. Abudureyimu, K. Nagasaka. Mapping of solar energy potential in Indonesia using artificial neural network and geographical information system. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2012; 16: 1437– 1449
- [6] Prastawa, A., R. Dalimi, A. Rezavidi. Single Hidden Layer Artificial Neural Network Technique for Solar Energy Potential Prediction in Indonesia. *Iseco Journal of Science and Technology* Vol. 10 - No 17 - May 2014 (2-10).
- [7] Fong, K.F., Lee, C.K., Chow, T.T., Lin, Z., Chan, L.S. Solar hybrid air-conditioning system for high temperature cooling in subtropical city. *Renewable Energy*. 2010; 35: 2439–2451.
- [8] Bilgili, M., 2011. Hourly simulation and performance of solar electric-vapor compression refrigeration system. *Solar Energy*. 2011; 85: 2720–2731.
- [9] Singh, G.K., 2013. Solar power generation by PV (photovoltaic) technology: A review. *Energy*. 2013; 53: 1-13
- [10] European Photovoltaic Industry Association, Global Market Outlook for Solar Power / 2015 - 2019
- [11] Aguilar, F.J., S. Aledo, P.V. Quiles. Experimental analysis of an air conditioner powered by photovoltaic energy and supported by the grid, *Applied Thermal Engineering*. 2017; doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2017.05.123>
- [12] <http://www.republika.co.id/berita/nasional/umum/16/12/05/ohpq4s313-rokhmin-dahuri-sejahteraan-kehidupan-nelayan-indonesia>
- [13] <http://dikti.go.id/ikan-melimpah-di-laut-kemana-nelayan-kita/>
- [14] <http://harian.analisadaily.com/opini/news/menyoal-kesejahteraan-nelayan-indonesia/338285/2017/04/06>

-
- [15] Infante Ferreira C., Kim D.-S. Techno-economic review of solar cooling technologies based on location-specific data. *International Journal of Refrigeration*. 2014; 39:23-37. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijrefrig.2013.09.033>.
- [16] R. Opoku, S. Anane, I.A. Edwin, M.S. Adaramola, R. Seidu, Comparative techno-economic assessment of a converted DC refrigerator and a conventional AC refrigerator both powered by solar PV, *International Journal of Refrigeration*. 2016; [http://dx.doi.org/doi: 10.1016/j.ijrefrig.2016.08.014](http://dx.doi.org/doi:10.1016/j.ijrefrig.2016.08.014)
- [17] Kim DS, Infante-Ferreira CA. 2008. Solar refrigeration options – a state-of-the-art review. *International Journal of Refrigeration*. 2008; 31:3–15