

## PENGEMBANGAN TEKNOLOGI SISTEM REFRIGERASI TEMPERATUR RENDAH SUMBER ENERGI HIBRID YANG RAMAH LINGKUNGAN

I Made Rasta<sup>1\*</sup>, I Wayan Adi Subagia<sup>2</sup>, I Dewa Made Susila<sup>3</sup>, Putu Wijaya Sunu<sup>4</sup>, I Nengah Ardita<sup>5</sup>, A.A.N.B. Mulawraman<sup>6</sup>

<sup>123456</sup>Teknik Mesin, Politeknik Negeri Bali, Bukit Jimbaran Kuta Selatan, Badung-80354

\*Email: [maderasta@pnb.ac.id](mailto:maderasta@pnb.ac.id)

### Abstract

*Increases in average global temperatures due to climate change, economic growth and urbanization are widely expected to lead to greater cooling demand. Any attempt to limit access to refrigeration is likely to have large productivity losses as well as adverse impacts, such as on the provision of quality health care and nutritious food. Global refrigeration system energy consumption is expected to increase 33-fold by 2100 from current levels to over 10,000 TWh. The bulk of this growth has been in developing countries. Apart from the main trends already mentioned several additional factors are driving this growth, such as cold chains are being strengthened to support initiatives to reduce food waste. This study investigates the potential use of a PV (photovoltaic) power supply system for a chest freezer for tropical climates. A solar powered PV chest freezer was created to experimentally investigate its operating performance. The electrical energy generated, stored and consumed by the system is recorded and analysed. The study results show that the PV solar panels used for cooling systems in tropical climates are very potential.*

*Keywords: refrigeration system, low temperature, hybrid energy, PV (photovoltaic), environmentally friendly*

### Absrak

Peningkatan suhu global rata-rata karena perubahan iklim, pertumbuhan ekonomi dan urbanisasi secara luas diperkirakan akan mengarah pada permintaan pendinginan yang lebih besar. Setiap upaya untuk membatasi akses ke pendinginan kemungkinan akan menimbulkan kerugian produktivitas yang besar serta dampak buruk, seperti pada penyediaan layanan kesehatan yang berkualitas dan makanan bergizi. Konsumsi energi sistem refrigerasi global diperkirakan akan meningkat sebanyak 33 kali lipat pada tahun 2100 dibandingkan tingkat saat ini menjadi lebih dari 10.000 TWh. Bagian terbesar dari pertumbuhan ini adalah di negara berkembang. Selain tren utama yang telah disebutkan beberapa faktor tambahan yang mendorong pertumbuhan ini, seperti rantai dingin sedang diperkuat untuk mendukung inisiatif untuk mengurangi pemborosan makanan. Studi ini menyelidiki potensi penggunaan sistem catu daya PV (fotovoltaik) untuk sistem pendingin (chest freezer) untuk daerah beriklim tropis. Sebuah chest freezer PV bertenaga surya dibuat untuk menyelidiki secara eksperimental kinerja pengoperasiannya. Energi listrik yang dihasilkan, disimpan dan dikonsumsi oleh sistem dicatat dan dianalisis. Hasil studi menunjukkan bahwa panel surya PV yang digunakan untuk sistem pendingin di wilayah iklim tropis sangat potensial.

*Kata Kunci: sistem refrigerasi, temperatur rendah, energi hibrid, PV (fotovoltaik), ramah lingkungan*

## PENDAHULUAN

Peningkatan suhu global rata-rata karena perubahan iklim, pertumbuhan ekonomi dan urbanisasi secara luas diperkirakan akan mengarah pada permintaan pendinginan yang lebih besar. Setiap upaya untuk membatasi akses ke pendinginan kemungkinan akan menimbulkan kerugian produktivitas yang besar serta dampak buruk pada penyediaan layanan kesehatan yang berkualitas, makanan bergizi, dan Pendidikan (Ecofys, 2015).

Peralatan dan sistem RHVAC sudah banyak digunakan di seluruh perekonomian, mulai dari peralatan rumah tangga kecil (mis. Lemari es dan pendingin ruangan) hingga sistem komersial dan industri yang sangat besar (mis. AC gedung besar dan pendingin pemrosesan makanan). Menurut perkiraan saat ini, peralatan RHVAC mewakili antara 25% dan 30% dari konsumsi listrik global (Henley, 2015).

Konsumsi energi terkait RHVAC global diperkirakan akan meningkat sebanyak 33 kali lipat pada tahun 2100 dibandingkan tingkat saat ini menjadi lebih dari 10.000 TWh (Cold chain). Bagian terbesar dari pertumbuhan ini adalah di negara berkembang. Selain tren utama yang telah disebutkan - perubahan iklim, pertumbuhan ekonomi dan urbanisasi - beberapa faktor tambahan yang mendorong pertumbuhan ini, seperti rantai dingin (IEA, 2018) sedang diperkuat untuk mendukung inisiatif untuk mengurangi pemborosan makanan;

Penilaian yang dilakukan oleh Badan Energi Internasional memperkirakan bahwa jumlah AC yang digunakan secara global akan meningkat dari 1,5 miliar menjadi 5,5 miliar unit antara 2015 dan 2050 (IEA, 2017). Sementara itu, jumlah lemari es domestik akan berlipat ganda menjadi lebih dari 2 miliar

Penggunaan peralatan RHVAC yang lebih besar telah menciptakan tekanan signifikan pada sistem tenaga dan meningkatkan permintaan listrik puncak, terutama di negara-negara bersuhu tinggi. Seiring meningkatnya permintaan pendinginan, negara-negara perlu mempertimbangkan kebutuhan untuk investasi yang signifikan dalam peralatan pembangkit listrik dan dalam sistem transmisi dan distribusi listrik.

Di negara-negara suhu ambien tinggi, permintaan listrik puncak terjadi ketika permintaan untuk pendingin udara sangat tinggi.

Tuntutan listrik puncak ini akan meningkat secara signifikan karena pertumbuhan AC diperkirakan akan terjadi. Penjualan pendingin udara tumbuh 10–15% per tahun di negara-

negara panas dan padat penduduk seperti Brasil, Cina, India, dan Indonesia<sup>9</sup>. Perlu dipertimbangkan bahwa unit pendingin ruangan biasanya menggunakan listrik 10-20 kali lebih banyak daripada kipas langit-langit<sup>10</sup>.

Maleki (2018, 2019) menggunakan sistem catu daya hybrid, menggabungkan berbagai sumber daya terbarukan (energi matahari dan angin dan mencocokkannya dengan sel bahan bakar dan diesel) dan mengoptimalkan komponen sistem untuk meningkatkan tingkat pemanfaatan energi. Selain itu, penulis yang sama mempelajari sistem gabungan panas dan daya (CHP) berbasis sel bahan bakar untuk mengatasi masalah kekurangan energi. Zhang, dkk. (2019) mengedepankan sistem tenaga hibrida kecil yang independen (menggabungkan angin dan energi surya) dan mengoptimalkan jumlah baterai, luas permukaan sistem fotovoltaik (PV), dan daerah sapuan turbin angin, sehingga mencapai efek konservasi energi yang tinggi. Ma, dkk. (2014) melakukan studi kelayakan pada sistem hybrid baterai tenaga surya untuk menganalisis efek ukuran panel PV, ukuran turbin angin, dan kapasitas bank baterai terhadap kinerja sistem di pulau-pulau terpencil. Banyak sistem energi terbarukan hibrida yang serupa telah dikembangkan untuk memecahkan masalah terkait pasokan daya di daerah terpencil dan terpencil (Zhang, dkk. 2019; Zhang, dkk. 2018; Maleki, 2018). Laporan literatur telah membuktikan bahwa energi matahari dan angin dapat digunakan sebagai sumber daya terbarukan yang vital untuk pulau-pulau terpencil. Karena biaya operasional dan manajemen yang tinggi, sebagian besar sistem energi angin hanya berlaku untuk aplikasi skala besar (Hemeida, dkk. 2019).

Studi yang berfokus pada sistem refrigerasi berbasis surya skala kecil langka dalam literatur. Oleh karena itu, makalah ini mempelajari pencocokan optimal sistem refrigerasi surya skala kecil, dan upaya untuk mengatur sistem refrigerasi tenaga surya yang memiliki kemudahan pemasangan yang mudah, biaya perawatan yang rendah, dan kesesuaian untuk aplikasi skala kecil.

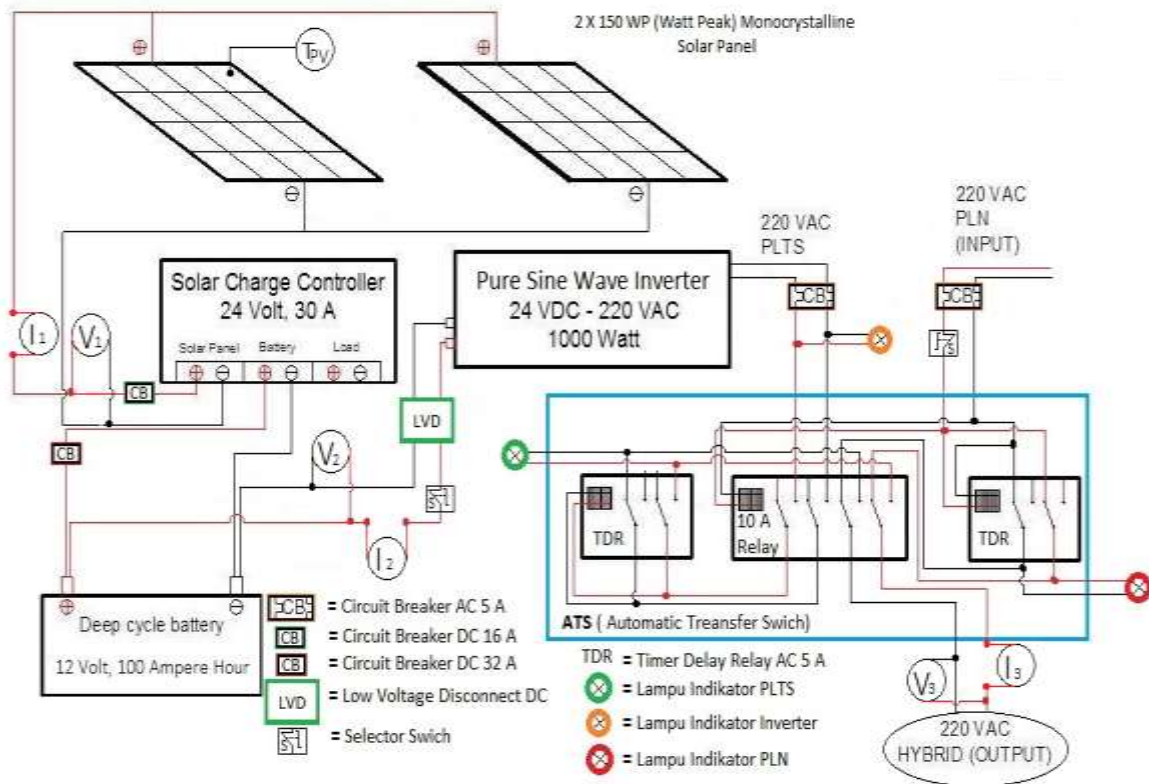
Penelitian ini dinyatakan menggunakan sistem pembangkit listrik fotovoltaik, energi matahari diubah menjadi listrik, dan terhubung ke jaringan listrik untuk pemanfaatan. Sebagai energi terbarukan, tenaga surya sangat penting sebagai sumber pasokan daya. Adapun sistem tenaga, mengetahui SPO di muka bermanfaat untuk mempromosikan pengiriman daya, meningkatkan stabilitas pasokan daya dan mengoptimalkan penjadwalan

sumber daya, meningkatkan manfaat ekonomi. Untuk alasan ini, prediksi yang tepat dari pembangkit listrik tenaga surya sangat mendesak untuk menangani dispatcher. Namun, pembangkit tenaga surya adalah sumber daya yang berfluktuasi yang sangat bergantung pada kondisi cuaca, menghasilkan ketidakpastian dan intermiten energi surya. Sederhananya: ketika cuaca baik dan ada periode panjang sinar matahari, lebih banyak tenaga surya dihasilkan. Kondisi ini menciptakan lebih banyak ketidakpastian dalam prediksi. Oleh karena itu, pekerjaan ini bertujuan untuk memprediksi output daya oleh pembangkit daripada dari radiasi matahari

Jadi, dengan meminimalisir kebutuhan akan energi listrik dari mesin refrigerasi menjadi salah satu prioritas kedepannya. Salah satu cara yang dapat diaplikasikan untuk mengurangi kebutuhan listrik khususnya di Indonesia yaitu dengan menggeser beban pendinginan yang terjadi pada saat waktu beban puncak menjadi di luar waktu beban puncak. Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) atau sistem photovoltaik bekerja dengan mengubah energi elektromagnetik dari sinar matahari menjadi energi listrik.

## **METODE PENELITIAN**

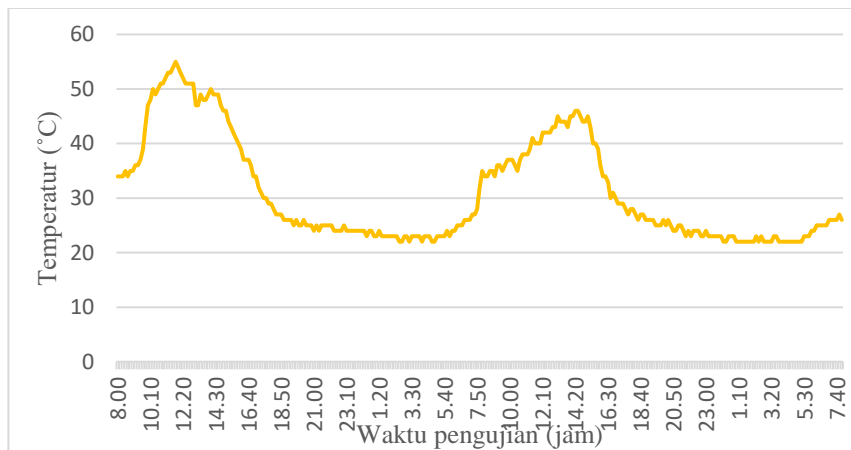
Alat analisa daya digunakan untuk mengukur arus, tegangan dan daya. Nilai arus dan tegangan pada keluaran panel PV dan chest freezer diukur untuk menentukan energi yang dihasilkan oleh panel PV dan energi yang dikonsumsi oleh chest freezer. Data dicatat ke pencatat data selama interval 10 menit. Nilai radiasi matahari diukur dengan Lutron Solar Power Meter SPM-1116SD dengan akurasi  $10 \text{ W/m}^2$  dan resolusi  $0,1 \text{ W/m}^2$  untuk radiasi lebih rendah dari  $1000 \text{ W/m}^2$  dan resolusi  $1 \text{ W/m}^2$  untuk radiasi lebih tinggi atau sama dengan  $1000 \text{ W/m}^2$ . Data yang direkam dari sistem pengukuran diolah dan dianalisis. Parameter kinerja sistem catu daya surya seperti daya yang dihasilkan, intensitas listrik, efisiensi, dan konsumsi daya dengan chest freezer dihitung dan disajikan.



Gambar 1 Skema dari suplai daya sistem hibrid

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Temperatur Permukaan Panel Solar PV



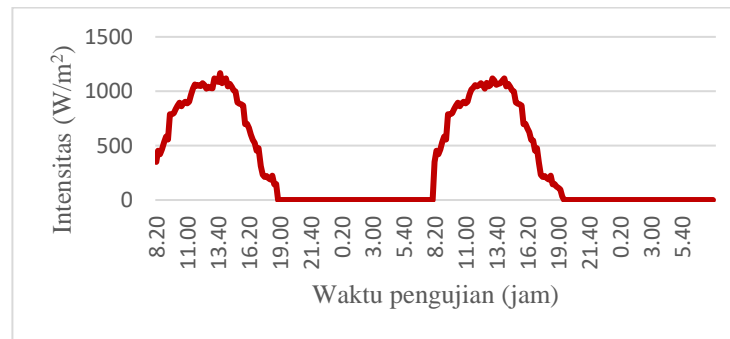
Gambar 2 Temperatur Permukaan Panel

Gambar 2 menunjukkan bahwa puncak temperatur tertinggi permukaan panel terjadi pada siang hari dan secara berangsur-angsur menurun menjelang sore dan malam hari. Hasil data temperatur permukaan panel dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1  
Data Temperatur Permukaan Panel

Pengujian	Temperatur Rata-Rata (°C)	Temperatur Tertinggi (°C)	Temperatur Terendah (°C)
Hari 1	32	55	22
Hari 2	29	46	22

### Intensitas Radiasi Matahari



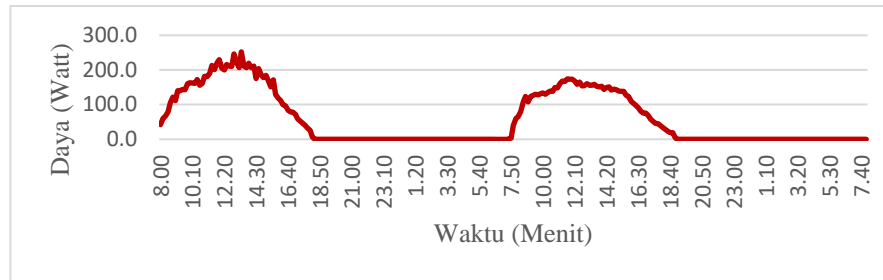
Gambar 3 Intensitas Radiasi Matahari

Gambar 3 menunjukkan bahwa puncaknya intensitas cahaya berada ketika siang hari dan secara berangsur-angsur menurun menjelang sore hari dan petang serta menghilang (nol) ketika matahari sudah terbenam. Hasil data intensitas cahaya dapat dilihat pada Tabel 3.2.

Tabel 2  
Data Intensitas Radiasi Matahari

Pengujian	Intensitas Radiasi Rata-Rata ( $W/m^2$ )	Intensitas Radiasi Tertinggi ( $W/m^2$ )	Intensitas Radiasi Terendah ( $W/m^2$ )
Hari 1	766	1.167	145
Hari 2	725	1.119	34

## Hasil Pengujian Daya DC

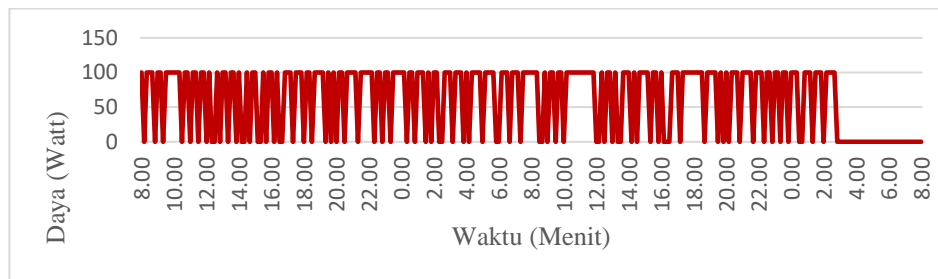


Gambar 4 Daya Keluar Panel Surya

Pada Gambar 4 yaitu daya yang keluar dari panel surya terlihat daya yang dihasilkan pada pengujian hari pertama lebih besar ketimbang daya yang dihasilkan pada pengujian hari kedua. Perbedaan tersebut disebabkan oleh tegangan dan arus yang di dapatkan pada pengujian hari pertama lebih besar. Hasil data daya keluar panel surya dapat dilihat pada Tabel 3 di bawah ini.

Tabel 3  
Data Daya Keluar Panel Surya

Pengujian	Daya Rata-Rata (Watt)	Daya Tertinggi (Watt)	Daya Terendah (Watt)
Hari 1	147.3	252.2	6.4
Hari 2	115.1	174.4	4.5



Gambar 5 Daya keluar baterai

Pada Gambar 5 yaitu daya keluar baterai terlihat sangat konstan mengikuti waktu mati kompresor, jika kompresor dalam keadaan mati maka daya yang keluar tercatat 0. Hasil data daya keluar baterai bisa dilihat pada Tabel 4 di bawah ini.

Tabel 4  
Data Daya Keluar Baterai

Pengujian	Daya (P) Rata-Rata (Watt)	Daya (P) Tertinggi (Watt)	Daya (P) Terendah (Watt)
Hari 1	68	100	0
Hari 2	70	100	0

## KESIMPULAN

Prediksi output tenaga surya sangat penting karena dapat menjadi alat pengambilan keputusan dalam operasi sistem tenaga. Penelitian ini berfokus pada perancangan model prediksi output tenaga surya untuk pembangkit listrik tenaga surya berada di daerah tropis. Dalam karya ini, sebuah chest freezer dengan daya input 100 W 220 VAC bertenaga PV dikembangkan untuk menyelidiki secara eksperimental potensi penggunaan sistem catu daya PV. Sistem ini terdiri dari sistem catu daya PV surya 300 Wp dengan penyimpanan baterai 100 Ah. Sistem catu daya PV surya dapat menghasilkan energi listrik yang cukup untuk memenuhi energi yang dikonsumsi chest freezer sebesar 1450 Wh. Untuk memastikan dan sepenuhnya ditenagai oleh sumber energi surya, operasi chest freezer 100 W, kapasitas sistem PV surya harus 400 Wp yaitu sekitar empat kali dari input daya freezer

## DAFTAR PUSTAKA

- Ecofys. (2015). Savings and benefits of global regulations for energy efficient products, (1 TWh = 1 million MWh).
- Hemeida, A. M., El-Ahmar, M. H., El-Sayed, A. M., Hasanien, H. M., Alkhalaf, S., Esmail M. F. C., & Senjyu, T. (2019). Optimum design of hybrid wind/PV energy system for remote area. *Ain Shams Engineering Journal* .
- Henley, J. (2015). World set to use more energy for cooling than heating.
- International Energy Agency. (2017). Energy Technology Perspectives
- International Energy Agency. (2018). The Future of Cooling: Opportunities for energy efficient air-conditioning.
- Maleki, A. (2018). Design and optimization of autonomous solar-wind-reverse osmosis desalination systems coupling battery and hydrogen energy storage by an improved bee algorithm. *Desalination*, 435: 221-34
- Maleki, A. (2018). Modeling and optimum design of an off-grid PV/WT/FC/diesel hybrid system considering different fuel prices. *International Journal Low Carbon Technology*, 13(2):140-7.



- Maleki, A. (2019). Optimal operation of a grid-connected fuel cell based combined heat and power systems using particle swarm optimization for residential sector. *International Journal Ambient Energy*, 1–20.
- Ma, T., Yang, H. X., & Lin, L. (2014). A feasibility study of a stand-alone hybrid solar–wind–battery system for a remote island. *Applied Energy*, 121: 149-58.
- The cold chain refers to the use of refrigeration to preserve foodstuffs in the chain between agriculture and consumption i.e. after harvesting, during food production and distribution, in food retail and in domestic refrigerators.
- Zhang, W., Maleki, A., & Rosen, M. A. (2019). A heuristic-based approach for optimizing a small independent solar and wind hybrid power scheme incorporating load forecasting. *Journal of Clean Production*, 241: 117920.
- Zhang, W., Maleki, A., Rosen, M.A., & Liu J. (2019). Sizing a stand-alone solar-wind-hydrogen energy system using weather forecasting and a hybrid search optimization algorithm. *Energy Conversion Management*, 180: 609-21.
- Zhang, G., Wu B, Maleki, A, & Zhang, W. (2018). Simulated annealing-chaotic search algorithm based optimization of reverse osmosis hybrid desalination system driven by wind and solar energies. *Solar Energy*, 173: 964-75.