



Journal of Applied Mechanical Engineering and Green Technology

Journal homepage: <http://ojs.pnb.ac.id/index.php/JAMETECH>
p-ISSN: 2655-9145; e-ISSN: 2684-8201

Kajian pendahuluan potensi energi surya untuk mengerakkan freezer display cabinet

I Dewa Made Cipta Santosa^{1*}, I Gede Nyoman Suta Waisnawa², I Gusti Agung Bagus Wirajati¹

¹Program Studi Teknologi Rekayasa Utilitas MEP, Politeknik Negeri Bali, Jl. Kampus, Kuta Selatan, Badung, Bali 80364, Indonesia

²Program Studi Teknik Mesin, Politeknik Negeri Bali, Jl. Kampus, Kuta selatan, Badung, Bali 80364, Indonesia

*Email: idmcsantosa@pnb.ac.id

Abstrak

Penelitian ini mengkaji permasalahan integrasi kebutuhan energi dari pengoperasian *display cabinet* dengan sumber energi terbarukan dari tenaga surya, sehingga sumber energi dan system yang dikembangkan dapat terjamin keberlanjutannya dengan baik. Artikel ini merupakan kajian awal untuk membuat produk/prototipe sistem *freezer display cabinet* untuk penyimpanan daging atau ikan segar dan rancang bangun integrasi sumber energi dari tenaga surya. Tenaga surya pada eksperimen ini diambil data - data photovoltaic untuk mendapatkan tegangan dan arus optimum sesuai dengan arah dan sudut kemiringan dari panel surya. Data dirangkum pada keseluruhan arah mata angin (Timur, Utara, Barat dan Selatan) dan semua sudut 0°, 15°, 30°, dan 45°. Keseruhuan data di rata-ratakan dan dicari arah dan sudut yang paling tinggi output arusnya pada lokasi tempat pengujian. Dari hasil penelitian kajian awal yang didapatkan yaitu berupa kelayakan dan optimasi dari penggunaan sistem photovoltaic untuk aplikasi penggerak system display cabinet didapatkan bahwa system tenaga surya dengan rangkaian photovoltaic mencapai hasil output arus yang optimal adalah dengan sudut kemiringan 15° dan arah utara (lokasi Pengambilan data Politeknik negeri Bali). Penelitian ini selanjutnya akan dilakukan pembuatan prototipe freezer dan diuji lebih lanjut dengan suplai tenaga surya dan dianalisis optimasi penghematan energi serta dan keberlanjutannya.

Kata kunci: freezer, display cabinet, photovoltaic

Abstract: This study examines the problem of integration of energy needs from the operation of display cabinets with renewable energy sources from solar power, so that the energy sources and systems developed can be guaranteed good sustainability. This article is a preliminary study to create a product / prototype freezer display cabinet system for the storage of fresh meat or fish and design the integration of energy sources from solar power. Solar power in this experiment is taken data - photovoltaic data to obtain optimum voltage and current according to the direction and angle of inclination of solar panels. The data is summarized in the overall direction (East, North, West and South) and all angles 0°, 15°, 30°, and 45°. The data is averaged and searched for the direction and angle of the highest current output at the test site. From the results of the initial study research obtained in the form of feasibility and optimization of the use of photovoltaic systems for the application of display cabinet system drive obtained that the solar power system with a series of photovoltaic achieved optimal current output results is with a slope angle of 15° and the north (investigated at Politeknik Negeri Bali). This research will then be conducted prototype freezer and further tested with solar power supply and analyzed optimization of energy savings and sustainability.

Keywords: freezer, display cabinet, photovoltaic

Penerbit @ P3M Politeknik Negeri Bali

1. Pendahuluan

Pada saat ini pendinginan pada lemari pajang (*display cabinet*) dilakukan dengan menambahkan es pada daging atau ikan, pada saat es mulai mencair maka produk akan terendam pada temperatur 0°C bahkan lebih. Kondisi ini tidak sesuai dengan penyimpanan daging dan ikan, sehingga akan terjadi pembusukan yang cepat pada daging dan ikan yang mengakibatkan kualitas dan higienis produk sangat rendah. Di lain pihak untuk pengoperasian display cabinet masih memerlukan banyak energi listrik sehingga

biaya operasional menjadi relatif mahal. Karena dari rancang bangun yang ada lemari pajang memerlukan beban pendinginan yang relatif lebih besar sebagai akibat dari infiltrasi yang tinggi dari sistem pajang yang terbuka. Kondisi lainnya adalah tarif listrik (PLN) cukup mahal dan ke depan akan semakin mahal seiring dengan energi fosil yang semakin menipis persediaannya. Sehingga untuk menjaga keberlanjutan maka sebagai negara tropis, energi surya merupakan energi terbarukan ke cemerlang depannya.

Sebagai negara tropis dengan sinar matahari berlimpah sepanjang tahun dengan intensitas yang tinggi, maka tenaga surya sangat potensial dikembangkan sebagai salah satu energi terbarukan yang paling efektif untuk diterapkan di berbagai daerah di seluruh Indonesia. Di lain pihak sudah semakin mahalnya energi listrik dari pembangkit konvensional dari energi fosil. Sedangkan kebutuhan akan sistem pendingin untuk penyimpanan bahan-bahan makanan baik daging maupun ikan segar sangat urgent karena produksi yang melimpah. Dengan demikian untuk kebutuhan penggerak mesin pendingin sudah banyak diteliti tentang peningkatan efektifitas dan keberlanjutan tenaga surya dibandingkan dengan energi listrik konvensional.

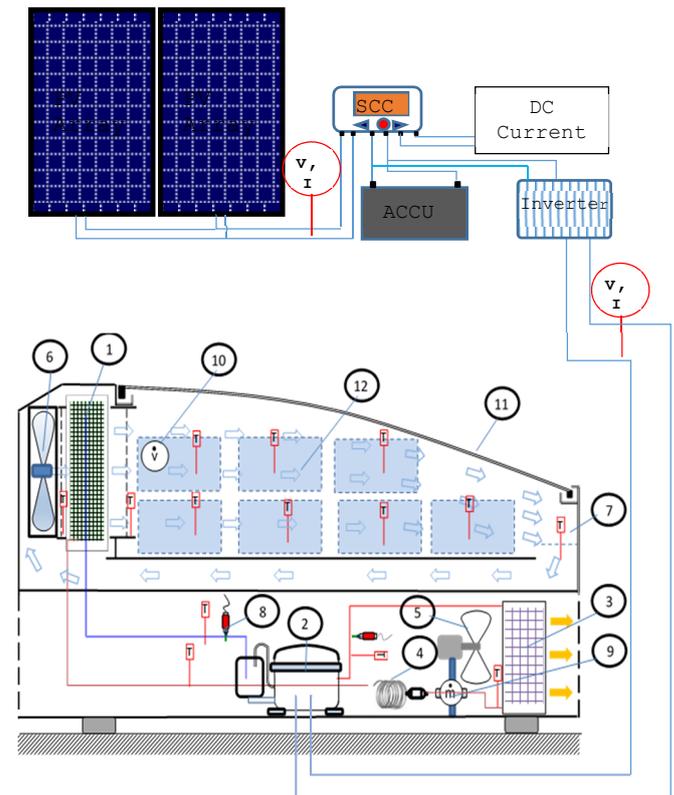
Li dan Wang [1] menyatakan bahwa tenaga surya lebih tepat untuk dikembangkan untuk sistem pendingin berkapasitas kecil yang dapat digunakan sebagai rantai dingin di daerah terpencil. Sistem dapat terhubung dengan jaringan atau tidak bergantung pada kondisi keberadaan jaringan. Pada saat ini Photovoltaic (PV) sudah diaplikasikan pada berbagai kapasitas sistem pendingin dari beberapa kilowatt saja hingga beberapa ribu kilowatt. Sedangkan untuk sistem pendingin berkapasitas besar lebih baik menggunakan sumber listrik dari jaringan listrik negara karena luaran listrik dari photovoltaic sangat berfluktuasi. Gupta dkk.[2] mengembangkan panel surya yang berdiri sendiri (*stand alone*) sebagai sumber energi untuk sistem refrigerator, dan menganalisis desain panel surya yang sesuai untuk kapasitas refrigerator tertentu dan menemukan bahwa tenaga surya sangat sesuai untuk sistem refrigerator. Koefisien kinerja (COP) diamati menurun dengan waktu dari pagi sampai sore dan COP maksimum cukup baik sebesar 2.1. Sedangkan dari sudut pandang ekonomi, sistem dapat layak dengan mempertimbangkan opsi emisi karbon dioksida, dan subsidi awal atau pengurangan biaya komponen terutama panel photovoltaic dan baterai.

Bilgili [3] dan Modi di dkk. [4] menyatakan bahwa sistem tidak dapat bertahan secara ekonomi tanpa insentif keuangan awal atau subsidi pemerintah, atau pengurangan substansial dalam biaya komponen yang lebih mahal. Dibutuhkan subsidi awal minimum sebesar 15% untuk mendapat periode pembayaran kembali finansial dari sistem saat ini ke umur proyek yang diasumsikan selama 24 tahun. Sistem PV secara ekonomis masih memerlukan biaya investasi yang cukup tinggi karena harga baterai masih relatif mahal. Dengan demikian tujuan dari kajian ini adalah untuk mendapatkan produk/prototipe lemari panjang (display cabinet) hemat energi dengan energi surya yang dapat menurunkan biaya operasional untuk penyimpanan ikan segar. Sehingga produk ikan segar dapat terjaga kualitas dengan harga yang bersaing. Tujuan lain adalah mendapatkan mekanisme sistem tenaga surya yang efisien yang sesuai dengan penggunaan display cabinet sehingga terjaga keberlanjutannya. Namun pada penelitian ini merupakan kajian awal untuk mendapatkan optimasi operasional dari sistem rangkaian *photovoltaic* yang dipersiapkan untuk suplai energi system display cabinet tersebut di atas.

2. Metode dan Bahan

Penelitian ini merupakan kajian awal untuk membuat produk/prototipe sistem *freezer display cabinet* untuk penyimpanan daging atau ikan segar dan rancang bangun integrasi sumber energi dari tenaga surya. Prototipe freezer

display cabinet dengan temperatur yang dapat dicapai bervariasi dari -20°C sampai dengan -25°C dengan sistem pengendalian yang presisi. Kelembaban (RH) juga dapat dikontrol yang dapat divariasikan 85% - 98%. Data awal adalah berupa kinerja sistem tenaga surya *off grid* dan pengumpulan data dilakukan dengan uji eksperimen dengan menggunakan instrumentasi dan alat ukur dengan presisi. Penelitian dilaksanakan di Lab Refrigerasi, Politeknik Negeri Bali. Setelah menganalisis data hasil uji eksperimen akan dilakukan perbaikan (*improvement*) dari sistem dan pada penelitian selanjutnya akan dilakukan uji dan analisis performansi system refrigerasi dari freezer display cabinet dan uji kualitas produk (ikan, daging) yang disimpan pada system freezer.



Keterangan :

- | | |
|--|----------------------------|
| 1. Evaporator | 7. Thermocouples |
| 2. Kompresor | 8. Pressure transducer |
| 3. Kondensor | 9. Flow meter - Refrigeran |
| 4. Pipa Kapiler | 10. Flow meter - udara |
| 5. Fan/Blower kondensor | 11. Display Cabinet body |
| 6. Fan/Blower Evaporator dengan pengaturan kecepatan | 12. Simulasi produk |

Gambar 1. Diagram prototipe *freezer* dengan tenaga surya

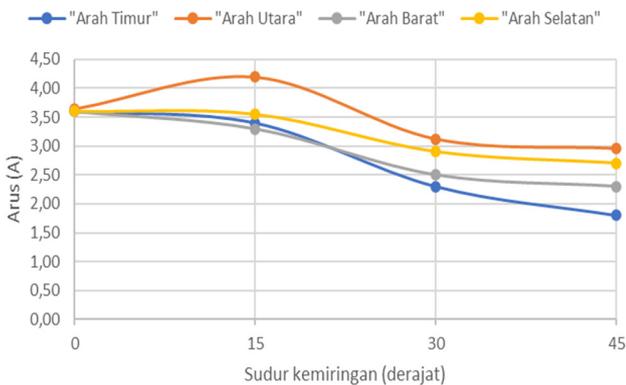
Sistem tenaga surya yang digunakan adalah sistem *off grid* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1. Sistem tenaga surya diuji dari periode Bulan Agustus sampai dengan bulan Desember. Untuk mendapatkan optimasi sudut kemiringan photovoltaic. Pengukuran Arus listrik (I) dan tegangan (V) diukur pada setiap bagian yaitu keluar Photovoltaic, keluar Solar Charge Control (SCC), dan masuk serta keluar Inverter. Data diambil setiap 30 menit pada masing-masing bagian dengan *digital ampere meter* dan *digital voltmeter*. Sedangkan rancangan awal prototipe dan posisi instrumentasi dan pengukuran pada produk/prototipe juga ditunjukkan pada Gambar 1. Pada penelitian selanjutnya akan dilakukan pengambilan data performansi sistem akan

dilakukan dengan pengukuran temperatur (T) dan tekanan (P) di setiap kondisi (state) siklus freezer display cabinet serta laju aliran masa refrigeran (refrigerant side), kecepatan (v) dan temperatur (T) aliran udara pendinginan pada kondensor dan evaporator (air side). Dari segi kelistrikan dari sumber energi tenaga surya maupun komponen diukur daya listrik, arus serta voltase input juga diukur dengan seksama. Pengambilan data kualitas produk dilakukan dengan pengukuran temperatur (T) dan kelembaban (RH) ruangan pendingin.

Analisis secara keseluruhan akan dilakukan untuk mendapatkan performansi sistem dan kualitas produk yang dibantu dengan program EES (Equation Engineering Solver), Program @CoolPack, serta program spread sheet. Hasil analisis akan ditunjukkan dengan grafik dan tabel.

3. Hasil dan Pembahasan

Pada hasil kajian pendahuluan ini, diperoleh data rinci tentang keluaran arus dan tegangan listrik tenaga surya yang dapat dikonsumsi oleh sistem refrigerasi. Data pada percobaan ini dianalisis untuk mendapatkan tegangan dan arus yang optimal sesuai arah dan sudut kemiringan panel surya. Data dirangkum ke semua arah yang menghadap (Timur, Utara, Barat, dan Selatan) dan sudut 0°, 15°, 30°, dan 45°. Arus (I) didapatkan menurut arah mata angin dan sudutnya dengan rata rata ditunjukkan ditunjukkan pada Gambar 2 berikut.



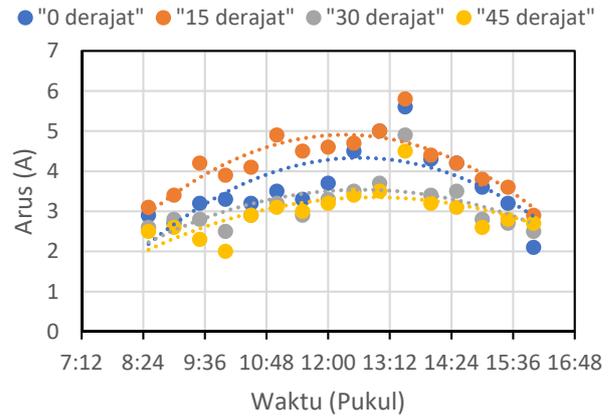
Gambar 2. Data hasil pengukuran luaran arus photovoltaic sesuai dengan sudut kemiringan dan arah mata angin

Hasil data dari segi arah dan sudut yang dapat menghasilkan arus maksimal yang menghadap ke utara dengan sudut 15 derajat, trend data menunjukkan arus keluaran dari fotovoltaik sesuai dengan intensitas sinar matahari dari pukul 8.30 pagi hingga 4.30 sore (waktu setempat) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.

Dari Gambar 3 dapat dilihat bahwa output arus (A) dari fotovoltaik bervariasi secara alami sesuai dengan tren intensitas penyinaran matahari sepanjang hari. Arus listrik didapatkan sangat baik pada pukul 12.00 hingga 13.00 (waktu setempat) dan secara umum masih mendapatkan tenaga surya selama delapan jam sehari. Dengan kondisi ini, sistem fotovoltaik dapat menggerakkan freezer pada siang hari selama 12 jam yang didukung oleh baterai. Pada malam hari, power listrik akan dialihkan pada jaringan listrik nasional (PLN). Sehingga pasokan tenaga listrik untuk sistem freezer tetap stabil sepanjang waktu pengoperasian. Untuk kebutuhan ini maka direkomendasikan sistem kontrol

switch change yang bekerja sesuai dengan suplai arus dominan yang masuk ke dalam sistem refrigerasi.

Dari analisis hasil tersebut diatas dimana kemiringan optimum pada 15 derajat arah utara, sehingga ditetapkan photovoltaic diinstalasi berupa *fix tilt* dengan sudut 15 derajat (dimana sudut 0 derajat dalam posisi horizontal), sehingga lebih lanjut pengujian dilakukan pada sudut ini berupa *fix tilt*. Instalasi lebih lanjut untuk kapasitas yang lebih besar yang biasanya diinstalasi diatas atap gedung dapat direkomendasikan sudut dan arah optimum ini.



Gambar 3. Data hasil pengukuran luaran arus photovoltaic pada sudut kemiringan 15° dan arah Utara

Kinerja mesin pendingin dengan sistem tenaga surya akan dikaji dari segi penghematan energi dan analisis ekonomis. Pada kajian awal ini dianalisis dengan data sekunder yang didapat dari berbagai jurnal internasional mutakhir. Opoku, dkk. [5] melakukan pendekatan yang handal dan hemat energi untuk menyediakan kebutuhan pendinginan di sebagian besar negara berkembang dan tropis. Secara penilaian tekno-ekonomi komparatif dari refrigerator arus searah (DC) dan refrigerator arus bolak-balik (AC) yang keduanya didukung oleh sistem photovoltaic (PV). didapatkan hasil bahwa kedua refrigerator mempertahankan suhu kabinet dan evaporator yang hampir sama masing-masing sekitar 2 °C dan -10 °C. Namun, refrigerator AC mengkonsumsi daya dan lonjakan daya yang relatif tinggi dibandingkan dengan refrigerator DC.

Asesmen ekonomi didapatkan bahwa refrigerator DC (tanpa inverter) dibandingkan dengan refrigerator AC (dengan inverter), berpotensi mengurangi biaya sistem secara keseluruhan sebesar 18% . Sedangkan lebih lanjut sistem refrigerator DC dengan metode kecepatan variabel dibandingkan dengan mode kecepatan tetap, kapasitas pendinginan mode kecepatan variabel meningkat 32,76% dan pemanfaatan PV rata-rata meningkat sebesar 45,69% [6]. Daffallah [7] dan [8] menguji kinerja refrigerator photovoltaic DC 12 V dan 24 V dengan dan tanpa pembebanan dan didapatkan bahwa perbandingan pengoperasian refrigerator DC 12 V jauh lebih efisien dari pada pengoperasian 24 V, terutama pada temperatur lingkungan yang lebih tinggi dengan rata-rata penghematan energi 81,28 kWh / tahun. Secara aplikatif mesin pembuat es diuji dengan mengoptimalkan sistem pasokan energi surya, hasil simulasi selama satu tahun menunjukkan sistem mampu memenuhi target produksi es selama 89% dari hari-

hari dalam setahun di lokasi terpilih, ini menunjukkan bahwa sistem energi matahari sangat sustained untuk kebutuhan sistem pendingin [9]. Lebih lanjut Saliliha dan Birhane [10] merekomendasikan bahwa untuk pendinginan yang berdiri sendiri menggunakan sistem PV surya sebagai sumber energi, lebih ekonomis menggunakan refrigerator DC dari pada refrigerator AC.

4. Kesimpulan

Dari hasil kajian awal yang dilakukan maka didapatkan hasil berupa kelayakan dan optimasi dari penggunaan sistem photovoltaic untuk aplikasi penggerak sistem *display cabinet*, bahwa sistem tenaga surya dengan rangkaian photovoltaic mencapai hasil output arus yang optimal adalah dengan sudut kemiringan 15° dan arah Utara (lokasi pengambilan data di Politeknik Negeri Bali). Penelitian selanjutnya akan dilakukan pembuatan prototipe freezer dan diuji lebih lanjut dengan suplai tenaga surya dan dianalisis optimasi penghematan energinya dan keberlanjutannya.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada DRPM Ristek Dikti atas pendanaan yang diberikan dengan kontrak No. SPKK: 249/SP2H/LT/DRPM/2021 dan SP DIPA-042.06.1.401516/2021. Serta dosen Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Bali atas bantuan dan dukungan laboratorium beserta mahasiswa yang terlibat pada penelitian ini. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada Pusat Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat (P3M) Politeknik Negeri Bali atas dukungan administratif yang diberikan selama periode penelitian.

Daftar Pustaka

- [1] Y. Li, R.Z. and Wang, Photovoltaic powered solar cooling systems, "Institute of Refrigeration and Cryogenics, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai, China," *Advances in Solar Heating and Cooling Book*, 2016, ISBN 978-0-08-100301-5, Elsevier Ltd.
- [2] B.L. Gupta , M. Bhatnagar , and J. Mathur , "Optimum sizing of PV panel, battery capacity and insulation thickness for a photovoltaic operated domestic refrigerator", *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, Vol.7, 2014, pp. 55-67.
- [3] M. Bilgili, "Hourly simulation and performance of solar electric-vapor compression refrigeration system", *Solar Energy*, VI. 85, Issue 11, 2011, pp. 2720-2731.
- [4] Modi, Chaudhuri, A. Vijay, and B. Mathur, "Performance analysis of a solar photovoltaic operated domestic refrigerator", *Applied Energy*, Vol. 86, Issue 12, 2009, pp. 2583-2591.
- [5] R. Opoku, S. Anane, I. A. Edwin, M.S. Adaramola and 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>.
- [6] P. Su, J. Ji, J Cai, Y. Gao, and K. Han, "Dynamic simulation and experimental study of a variable speed photovoltaic DC refrigerator," *Renewable Energy* 152, 2020, 155-164.
- [7] K.O. Daffallah, M. Benganem, S.N. Alamri, A.A. Joraid, and A.A. Al-Mashraqi "Experimental evaluation of photovoltaic DC refrigerator under different thermostat settings", *Renewable Energy*, xx-xx.
- [8] K.O. Daffallah "Experimental study of 12V and 24V photovoltaic DC refrigerator at different operating conditions", *Physica B: Condensed Matter* Vol. 545, 2018, pp237-244.
- [9] V. T.Toledo, K. Meissner , P. Täschner, S. M. Ballester , and J. Müller, "Design and performance of a small-scale solar ice-maker based on a DC-freezer and an adaptive control unit," *Solar Energy*, 139, 2016, 433-443.
- [10] E. M. Saliliha, and Y. T. Birhane, "Modelling and performance analysis of directly coupled vapor compression solar refrigeration system", *Solar Energy*, Vol.190 ,2019, pp.228-238.