

Analisa kinerja sistempendingin peltier yang menggunakan sel PV dengan sumber energi radiasi matahari

Terang UHSG^{1)*}, Zulkifli Lubis²⁾, Tulus Burhanuddin Sitorus³⁾

^{1,2,3)}Departemen Teknik Mesin Universitas Sumatera Utara, Kampus USU Medan

Abstrak

Pemanfaatan energi surya secara umum digunakan untuk energi termal dan energi listrik. Salah satu aplikasi dari sistem pemanfaatan untuk energi listrik adalah penggunaan fotovoltaik (PV). Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui kinerja sistem kerja kotak pendingin dengan bantuan sel PV yang menyerap sumber energi matahari. Kelebihan dari sistem pendinginan ini adalah beroperasi tanpa menggunakan energi listrik serta ramah lingkungan. Penelitian ini menggunakan komponen elektronik peltier untuk pendingin. Komponen peltier dirangkai dengan heat sink dan kipas kecil diletakkan di bagian luar dan kipas yang lain diletakkan di bagian dalam kotak pendingin. Kotak pendingin terbuat dari styrofoam. Data perubahan temperatur sistem kotak pendingin yang diperoleh kemudian dianalisa sehingga dapat diperoleh kinerja sistem kotak pendingin tersebut. Pengujian dilakukan di ruangan terbuka yang mengalami paparan radiasi matahari. Proses pengukuran parameter cuaca dilakukan dengan menggunakan alat ukur cuaca HOBO dan untuk merekam perubahan temperatur pada setiap komponen sistem pendingin peltier digunakan data akuisisi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai COP maksimum sistem pendingin peltier yang dapat dicapai adalah 0,317. Pada penelitian ini, juga diteliti pengaruh kondisi cuaca yang meliputi radiasi matahari, temperatur dan kelembaban udara terhadap kinerja sistem pendingin peltier.

Kata kunci: sistem pendingin peltier, kinerja

Abstract

The utilization of solar energy consist of thermal energy and electrical energy. One application of the system for the utilization of electrical energy was photovoltaic (PV). The purpose of this study is to determine the performance of cooler box with PV cells that absorb the solar energy. The advantages of this cooling system was operated without using the electrical energy and environmentally friendly. This study uses electronic components Peltier for cooling. The peltier component assembled with a heat sink. The small fan that was placed on the outside and the other fan was placed inside the cooler. The cooler system was made of styrofoam. The changing of temperature in the cooler system was analyzed and obtained the performance of the cooling box system. The experiments were carried out in open space which exposure to solar radiation. The HOBO station was used to measure the weather parameter. To record the changing of temperature in the components was used data acquisition. The results showed that the maximum COP of peltier cooling system that can be achieved was 0.317. In this research, also was studied the effect of weather conditions against the performance of peltier cooling system.

Keywords: peltier cooling system, performance

1. Pendahuluan

Menurut [1, 2] bahwa daerah-daerah di Indonesia akan selalu terkena radiasi matahari dalam jangka waktu 10-12 jam setiap hari dan diperkirakan besarnya intensitas radiasi matahari rata-rata yang sampai di permukaan bumi Indonesia berkisar 4,8 kWh/m²/hari. Hal yang berlaku umum dalam komunitas ilmiah bahwa aktivitas manusia cukup mempengaruhi perubahan iklim yang terjadi dimana sebagian besar dampak ini berasal dari pembakaran bahan bakar fosil yang berasal dari industri yang menggunakan energi listrik. Dan perubahan iklim dan lingkungan yang merupakan implikasi dari penggunaan bahan bakar fosil tersebut merupakan tantangan yang serius bagi masyarakat umum [4, 5]. Secara umum teknologi PV memiliki beberapa keuntungan yang menonjol dari sumber energi lain khususnya energi fosil dan gas alam. Keuntungannya termasuk suplai sumber energi yang tak terbatas dari matahari serta memiliki fleksibilitas yang tinggi untuk instalasi dan aplikasinya.

Di samping itu biaya pengoperasian dan perawatan yang murah juga menjadi daya tarik teknologi ini [3]. Sel *photovoltaic* (PV) merupakan suatu perangkat yang mengubah energi radiasi matahari ke dalam bentuk energi listrik. Sistem sel PV

terdiri dari ikatan antara sisi positif dan negatif (*p-n junction*) di dalam sebuah sistem semi konduktor. Dalam penggunaannya, sel PV disusun saling berhubungan untuk menghasilkan energi yang lebih banyak dan daya yang besar yang dikenal dengan istilah panel atau modul PV. Arus yang dihasilkan dari sel PV pada umumnya adalah *Direct Current (DC)* tetapi dengan menggunakan konverter maka arus ini dapat dibuat menjadi *Alternating Current (AC)*.

Permintaan *photovoltaic* (PV) seperti untuk pembangkit energi meningkat setiap waktu di seluruh dunia karena pertimbangan peningkatan kesadaran tentang pemanasan global dan harga perbandingan energi surya dengan pembangkit listrik termal konvensional yang cukup kompetitif [6, 7, 8].

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui performansi sistem kerja kotak pendingin dengan menggunakan sel fotovoltaik yang menggunakan sumber energi matahari.

2. Studi Literatur

2.1. Efisiensi Panel Surya

Efisiensi dari sistem panel surya (PV) dinyatakan sebagai perbandingan dari daya *output* maksimal dari panel surya dengan daya intensitas radiasi matahari

*Korespondensi: Tel./Fax.: +62618213250/ +62618213250
E-mail: dayatginting10@gmail.com

yang sampai di permukaan PV. Efisiensi kinerja dari PV dapat dihitung dengan persamaan [9]:

$$\eta = \frac{P_{out}}{S_T A} \times 100\% \quad (1)$$

dimana P_{out} merupakan daya *output* maksimal dari PV (Watt), S_T merupakan radiasi matahari global (W/m^2) atau dapat dianggap sama dengan radiasi matahari STC (*Standart Test Conditions*) yang digunakan oleh pabrik yaitu $1000 W/m^2$ serta A merupakan luas permukaan PV (m^2). Daya *output* dapat dinyatakan sebagai daya listrik maksimal yang dapat dihasilkan oleh SPS yang dapat dihitung dengan persamaan [10]:

$$P_{out} = V_{OC} \times FF \times I_{SC} \quad (2)$$

dimana V_{OC} merupakan tegangan maksimum saat *open-circuit* (Volt), I_{SC} merupakan arus maksimum saat *close-circuit* (Ampere) dan FF merupakan Fill Factor yang nilainya berada pada kisaran 0,7 - 0,85. Perlu diketahui bahwa semakin besar nilai FF suatu panel surya maka kinerja panel surya tersebut semakin baik dan akan memiliki efisiensi panel surya yang semakin tinggi. Nilai dari *Fill Factor* dapat dihitung dengan persamaan:

$$FF = \frac{V_{OC} - \ln(V_{OC} + 0,72)}{V_{OC} + 1} \quad (3)$$

dimana nilai 0,72 merupakan konstanta untuk mendapatkan hasil yang akurat.

2.2. Sistem Pendingin Peltier

Elemen Peltier atau *Thermo - Electric Cooler (TEC)* merupakan suatu komponen listrik yang dapat menghasilkan temperatur dingin pada satu sisi dan temperatur panas pada sisi lainnya bila dialiri arus listrik. Kenaikan atau penurunan temperatur di persambungan bergantung pada arah aliran arus listrik. Aplikasi yang sering digunakan oleh sistem peltier adalah dengan memanfaatkan temperatur bagian dingin yang dihasilkan yaitu sebagai pendingin processor, AC mini, kulkas pada dispenser, pendingin minuman, dan pengatur temperatur akuarium. Sedangkan temperatur bagian panasnya dapat dibuang dengan memasang *heat sink* dan kipas. Besarnya koefisien performansi (COP) peltier adalah perbandingan antara kalor yang dihasilkan peltier dengan energi yang disuplai. Nilai dari COP peltier dapat ditentukan dari persamaan [11]:

$$COP = \frac{q_c}{\text{energi yang disuplai}} \quad (4)$$

$$COP = \frac{N \left(2 \cdot \alpha_{xy} \cdot I \cdot T_c - \frac{I^2 R}{2} - K \cdot (T_h - T_c) \right)}{N \left(2 \cdot \alpha_{xy} \cdot I \cdot (T_h - T_c) \right) + I^2 R} \quad (5)$$

dimana R merupakan hubungan tahanan listrik ($\Omega \cdot cm^2$), I merupakan arus listrik (A), k merupakan koefisien termal dari *couple* ($W/cm \cdot K$), α_{xy} merupakan koefisien Seebeck (V/K), T_h merupakan temperatur sisi panas, T_c adalah temperatur pada sisi dingin dan N adalah jumlah elemen/*couple*.

3. Metodologi

3.1. Bahan (Arial 10 pt)

Kotak pendingin merupakan objek dari pengujian yang menggunakan elemen pendingin termoelektrik sebanyak dua buah jenis TEC1 12706 dengan tegangan 12 V dan arus 6 A. Satu buah baterai digunakan untuk memberikan daya listrik ke alat pengujian yaitu kotak pendingin. Untuk memberikan suplai daya ke baterai dengan sumber energi dari matahari maka digunakan satu buah modul panel surya.

Pengatur tegangan SCC (*Solar Charge Controller*) digunakan untuk mengatur arus untuk pengisian dari panel surya ke baterai untuk menghindari kelebihan pengisian (*overcharging*) dan kelebihan tegangan (*overvoltage*) dan memonitoring temperatur baterai. SCC yang digunakan berjumlah satu buah dengan tegangan 12 V dan arus 10A. Data akuisisi digunakan untuk mengukur temperatur pada titik - titik yang ingin diketahui pada pengujian khususnya temperatur minuman, permukaan triplek dan permukaan dalam aluminium.

Data akuisisi bekerja secara otomatis dan merekam hasil pengukuran dalam bentuk program Excel untuk setiap menit. Untuk merekam kondisi cuaca yang terdiri dari temperatur, kelembaban relatif dan intensitas radiasi matahari digunakan alat data HOBOTation. Dalam pengujian ini, minuman berupa air mineral digunakan sebagai beban pendingin. Dan untuk meminimalisir pengaruh udara luar maka kotak pendingin peltier diisolasi dengan triplek setebal 1 cm pada bagian luar, styrofoam dengan tebal 4 cm pada bagian tengah dan aluminium pada bagian dalam setebal 1 mm. Tabel 1 menampilkan spesifikasi dari jenis PV yang digunakan.

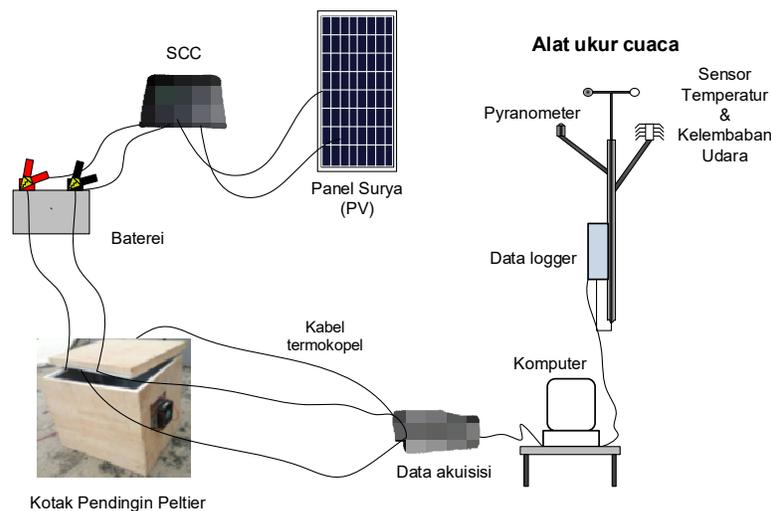
Tabel 1. Spesifikasi PV yang digunakan

Model	SA100 - 72M
Daya maksimum (P_{MGR})	100 W
Tegangan maksimum (V_{MGR})	18,9 V
Arus maksimum (I_{MGR})	5,3 A
Tegangan tanpa beban (V_{oc})	22,7 V
Arus hubungan singkat (I_{sc})	5,8 A
Massa	7,3 kg
Dimensi	1032 x 676 x 25 mm
Temperatur	- 40°C s/d +85°C
Bahan bingkai	Aluminium
Tegangan maksimal sistem	715 V
STC	1000 W/m ²

3.2. Skema Pengujian

Proses pengujian dilakukan mulai dari jam 09.00 WIB dimana suplai daya dari baterai mulai diaktifkan dan dinon-aktifkan pada jam 17.00 WIB. Panel surya tetap diaktifkan untuk mengisi daya baterai sehingga baterai dapat langsung digunakan pada pagi hari berikutnya tanpa harus di-charge terlebih dahulu. Kemudian kotak pendingin ditutup dan diisolasi dengan menggunakan selotip agar pengaruh infiltrasi udara luar tidak masuk ke dalam kotak pendingin. Baterai diaktifkan dengan cara menjepit kabel dari SCC ke baterai dan dibiarkan selama delapan jam sehingga data akuisisi dapat merekam perubahan temperatur yang terjadi. Mesin atau kotak pendingin

dinon-aktifkan pada jam 17.00 WIB dan diambil data perubahan temperatur yang telah diperoleh. Setelah baterai dinon-aktifkan, kotak pendingin tetap dalam kondisi tertutup dan terisolasi serta dibiarkan sampai pagi hari. Baterai kembali diaktifkan jam 09.00 WIB pada pagi berikutnya dan kembali diulang dengan prosedur yang sama dengan terlebih dahulu dilakukan pemeriksaan pada alat maupun bahan. Pengujian dilakukan selama 4 hari dari tanggal 2 Mei - 5 Mei 2016 di kota Medan. Gambar 1 menunjukkan skema pengujian yang dilakukan.



Gambar 1. Skema pengujian dan sistem pengukuran yang digunakan

4. Hasil dan Pembahasan

4.1. Tipikal Kondisi Cuaca Saat Pengujian

Pengujian dilakukan di ruangan terbuka yang mengalami radiasi matahari langsung. Kondisi cuaca perlu diketahui karena terkait dengan performansi dari PV yang digunakan. PV digunakan untuk menyimpan energi radiasi matahari dan disimpan ke baterai.

Komponen baterai digunakan sebagai sumber energi untuk proses pendinginan dengan komponen peltier.

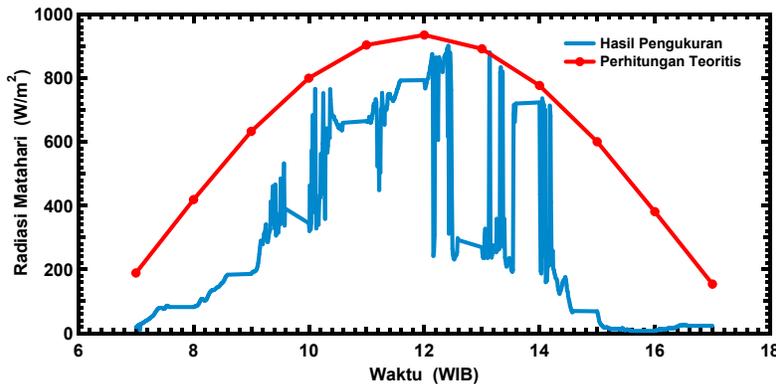
Proses pengukuran kondisi cuaca dilakukan untuk 24 jam selama empat hari pengujian. Rentang waktu pengukuran dilakukan setiap satu menit. Tabel 2 menunjukkan kondisi rata-rata parameter cuaca selama proses pengujian.

Tabel 2. Kondisi cuaca selama pengujian

Waktu pengukuran	Temperatur udara rata-rata (°C)	Kelembaban udara rata-rata (%)	Radiasi matahari rata-rata (W/m ²)
2/05/2016	29,65	63,06	187,23
3/05/2016	29,11	79,21	178,22
4/05/2016	28,97	81,87	165,32
5/05/2016	29,78	77,11	162,44

Kondisi cuaca yang diukur adalah temperatur dan kelembaban udara serta radiasi matahari yang bervariasi setiap harinya. Sedangkan kondisi radiasi matahari hasil pengukuran dan radiasi matahari hasil perhitungan teoritis pada hari pertama ditampilkan pada gambar 2. Terdapat perbedaan hasil karena pada perhitungan radiasi matahari teoritis diasumsikan bahwa kondisi langit cerah sedangkan

pada hasil pengukuran radiasi matahari merupakan kondisi langit yang sebenarnya dapat berupa cerah, berawan dan mendung. Berdasarkan data eksperimental yang diperoleh dari hasil pengukuran bahwa umumnya sinar radiasi mulai tampak dari pukul 06.19 WIB hingga pukul 18.31 WIB selama pengujian.



Gambar 2. Kondisi radiasi matahari pada pengujian hari pertama

4.2. Kinerja Komponen Pendukung

Pengujian sistem kotak pendingin peltier menggunakan sel PV untuk menyerap radiasi matahari agar dapat menghasilkan energi listrik. Untuk menghitung estimasi jumlah dan daya modul PV yang diperlukan maka perlu diketahui dahulu besarnya daya rata-rata yang dibutuhkan oleh kotak pendingin setiap harinya. Pada penelitian ini, peralatan elektronik yang digunakan di dalam kotak pendingin adalah kipas angin dengan daya 2,28 watt dan komponen peltier atau termoelektrik code TEC1 12706 dengan daya maksimal 72 watt. Besarnya penggunaan listrik rata-rata selama 4 jam untuk satu hari adalah 612,48 Wh. Karena penggunaan listrik dari PV adalah 100% maka *output* dari PV yang diperlukan setiap harinya adalah 612,48 Wh. Perlu diketahui bahwa untuk perhitungan estimasi jumlah dan daya ini maka diasumsikan kondisi cuaca cerah dengan radiasi matahari rata-rata adalah 6 jam perhari. Dengan efisiensi sistem yang digunakan yang

merupakan faktor penyesuaian adalah 96% dan kapasitas minimum modul diperoleh 106,33 watt maka jumlah modul yang dibutuhkan adalah satu buah. Berdasarkan spesifikasi PV yang digunakan dan dengan menggunakan persamaan pada pembahasan sebelumnya maka diperoleh daya maksimum (P_{out}) sekitar 108,60 watt serta efisiensi PV diperoleh sebesar 15,60%. Pada penelitian ini juga digunakan baterai yang berfungsi untuk menyimpan energi listrik yang telah dihasilkan oleh modul PV dan digunakan sebagai sumber energi untuk menggerakkan peralatan kipas dan komponen peltier. Baterai yang digunakan pada pengujian ini memiliki spesifikasi 12V daya 70Ah. Besarnya tegangan dan arus yang keluar dari panel surya berkisar 18,9 V dan 5,3 A yang akan diatur oleh SCC menjadi 12 Volt dan 10 A agar dapat mengisi baterai 70 Ah. Berdasarkan pengujian dan perhitungan yang dilakukan maka diperoleh waktu pengisian baterai berkisar 9,5 jam.

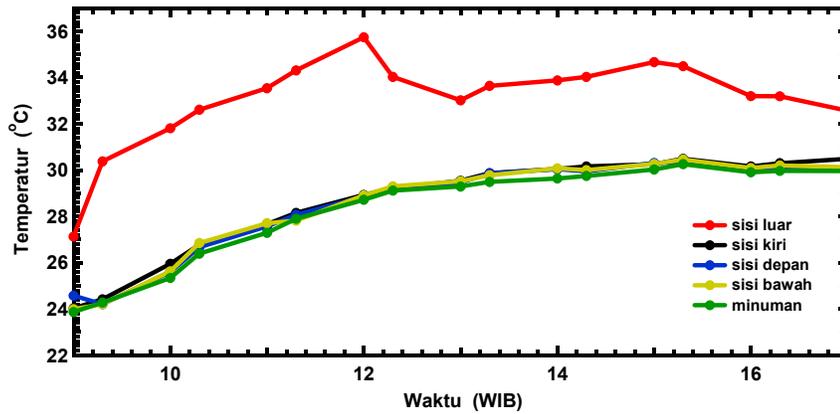
4.3. Kinerja Sistem Pendingin Peltier

Kinerja dari kotak sistem pendingin peltier diuji dengan menempatkan sensor termokopel pada beberapa titik di kotak pendingin. Kelima titik tersebut berada pada sisi luar, sisi depan, sisi kiri, sisi bawah dan minuman. Pengujian dilakukan mulai dari pukul

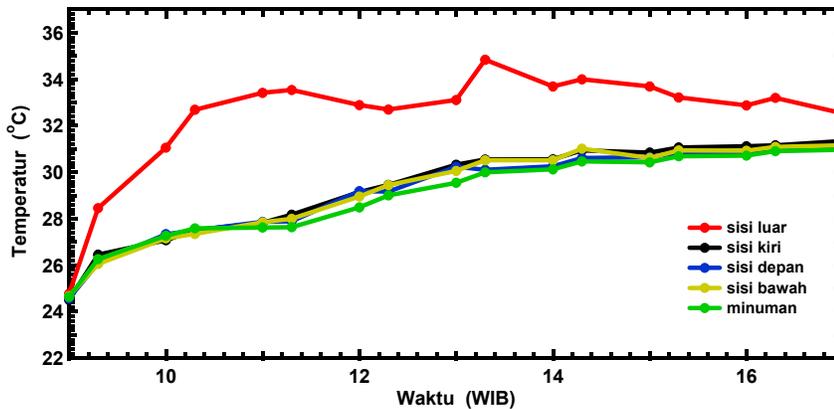
09.00 WIB hingga pukul 17.00 WIB selama delapan jam. Pengujian dilakukan ke dalam dua tahap. Tahap pertama pengujian tanpa menggunakan es selama dua hari dan pengujian tahap kedua menggunakan es dengan volume satu liter juga selama dua hari.



Gambar 3. Kotak pendingin peltier a). tanpa es b). dengan es volume satu liter



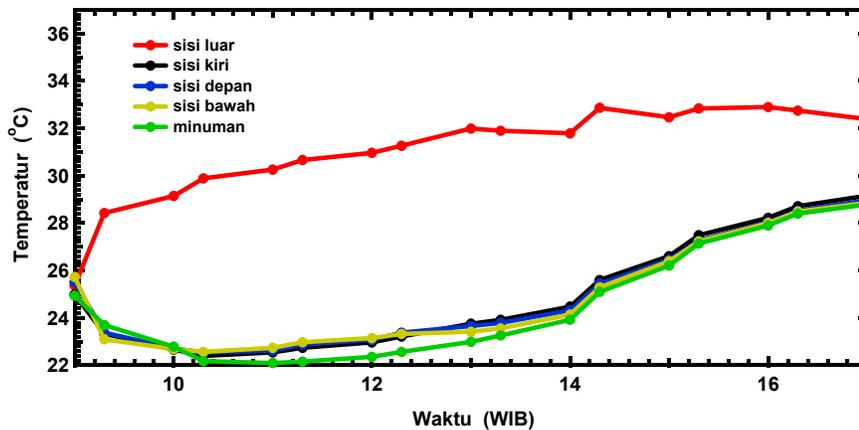
Gambar 4. Pengujian dengan kotak pendingin tanpa bantuan es pada pengujian hari pertama



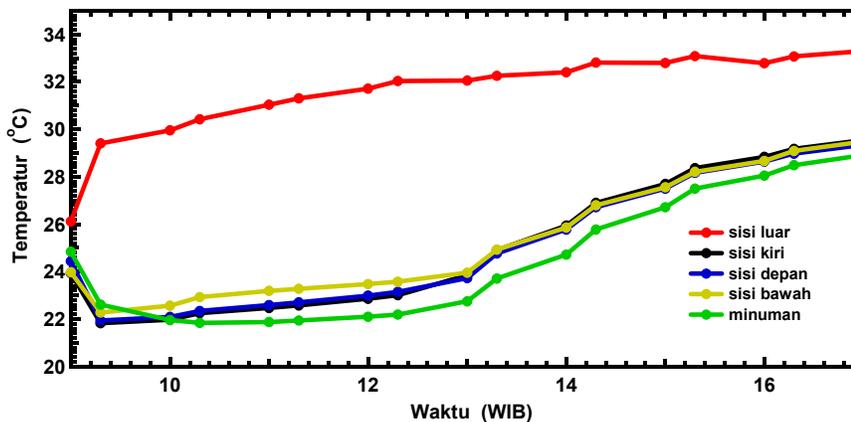
Gambar 5. Pengujian dengan kotak pendingin tanpa bantuan es pada pengujian hari kedua

Gambar 4 dan 5 menunjukkan pengujian pada kotak pendingin peltier tanpa menggunakan es dimana temperatur minimum terdapat pada minuman sebesar 24,04°C pada hari pertama dan hari kedua. Pengujian yang dilakukan dengan bantuan es menunjukkan temperatur minimum pada minuman adalah 21,97°C yang dilakukan pada hari kedua. Besarnya temperatur rata-rata minuman selama pengujian tanpa es adalah 29,17°C sedangkan bila menggunakan es diperoleh 24,57°C. Pengujian bahwa pada sisi luar kotak memiliki temperatur yang paling tinggi diantara keempat titik lainnya dimana hal ini disebabkan oleh adanya pengaruh dari temperatur lingkungan selama pengujian dan juga titik pengukuran yang dekat dengan kipas sehingga terdapat pengaruh dari panas yang dibuang oleh kipas dari *heatsink* yang terpasang ke lingkungan sekitar. Kondisi temperatur lingkungan ikut mempengaruhi temperatur komponen di dalam kotak pendingin. Berdasarkan data pengujian diperoleh temperatur di dalam kotak pendingin mengalami fluktuatif setiap menitnya dimana laju perubahan temperatur berkisar antara 0,01 - 0,202°C/min yang dihitung dari temperatur minuman. Temperatur di dalam kotak pendingin yaitu pada sisi depan, sisi bawah, sisi kiri

dan minuman berada pada jalur yang berdekatan. Hal ini mengindikasikan bahwa distribusi temperatur di dalam kotak pendingin cukup merata ke semua sisi kotak pendingin. Besarnya perbedaan temperatur antara keempat posisi pengukuran berkisar 0,018 - 0,278°C sedangkan perbedaan temperatur di dalam dan di luar kotak pendingin adalah antara 2,607 - 6,605°C. Untuk temperatur minuman yang berada dibawah 25°C memiliki durasi selama 50 menit pertama kemudian mengalami peningkatan secara perlahan-lahan hingga mencapai temperatur maksimum 30,56°C. Analisa terhadap peningkatan temperatur minuman tersebut dapat diakibatkan beberapa faktor. Pertama, meningkatnya temperatur udara di luar kotak pendingin yang mempengaruhi kondisi perubahan temperatur di dalam kotak pendingin. Kedua, kinerja dari kipas yang digunakan dimana dapat mengakibatkan timbulnya panas pada kipas. Ketiga, adanya faktor-faktor lain salah satunya berkurangnya daya pada baterai sebagai sumber energi pada kotak pendingin sehingga komponen termoelektrik tidak bekerja secara optimal.



Gambar 6. Pengujian dengan kotak pendingin dengan bantuan es pada hari ketiga



Gambar 7. Pengujian dengan kotak pendingin dengan bantuan es pada hari keempat

Gambar 6 dan 7 menampilkan perubahan temperatur yang terjadi pada kotak pendingin dengan bantuan es bervolume satu liter. Tampak adanya penurunan temperatur berkisar 0,017 - 0,301°C/min. Penurunan temperatur terjadi akibat pengaruh dari es yang memiliki temperatur -3°C dan volume 1000 ml yang dimasukkan ke dalam kotak pendingin. Temperatur minimum yang dapat dicapai dengan bantuan es adalah 21,98°C dan temperatur maksimum adalah 29,12°C. Dari data pengujian tampak bahwa durasi temperatur minuman yang berada di bawah 25°C berkisar selama 4 jam 20 menit. Peningkatan temperatur minuman mulai terjadi

pada pukul sekitar 13.20 WIB. Peningkatan temperatur di dalam kotak pendingin diakibatkan oleh mencairnya es dan faktor teknis pada komponen peltier serta kipas. Berdasarkan data pengujian dan perhitungan diperoleh juga nilai COP dari sistem pendingin peltier selama beberapa hari pengujian. Nilai COP maksimum yang dapat diperoleh sebesar 0,317 dan nilai COP minimum sebesar 0,209. Korelasi antara parameter COP dengan kondisi cuaca saat pengujian juga diteliti. Tabel 3 menunjukkan korelasi nilai COP dengan parameter cuaca yang diperoleh dengan bantuan kajian fungsi korelasi statistik.

Tabel 3. Korelasi nilai COP terhadap kondisi cuaca saat pengujian

Keterangan	Temperatur udara	Kelembaban udara	Radiasi matahari	Nilai COP
Temperatur udara	1			
Kelembaban udara	-0.773	1		
Radiasi matahari	0.4353	-0.4611	1	
Nilai COP	0.4322	-0.4203	0.455279	1

Dengan menggunakan analisa regresi berganda (*multiple regression*) didapatkan juga nilai koefisien determinasi sebesar 0,4421. Hal ini menyatakan bahwa pengaruh kondisi cuaca yang meliputi radiasi matahari, temperatur dan kelembaban udara terhadap nilai COP sistem pendingin peltier adalah 44,21%. Analisa yang dapat dilakukan adalah pengaruh kondisi cuaca terhadap kinerja sistem pendingin peltier tetap ada walaupun tidak cukup signifikan. Hal ini mengindikasikan bahwa sistem isolasi dari kotak pendingin peltier yang dilakukan sudah cukup baik sehingga dapat meminimalisasi infiltrasi udara luar ke dalam sistem pendingin peltier.

5. Simpulan

Sistem pendinginan dengan menggunakan komponen peltier telah diuji kinerjanya. Beberapa hal yang dapat disimpulkan adalah sebagai berikut :

1. Kelebihan sistem penelitian ini adalah tanpa menggunakan refrijeran berupa zat kimia sehingga ramah lingkungan dan tanpa menggunakan energi listrik.
2. Pada pengujian kotak pendingin peltier tanpa menggunakan es diperoleh temperatur minimum pada minuman sebesar 24,04°C. Sedangkan temperatur minimum dari minuman yang dapat dicapai dengan bantuan es adalah 21,98°C.
3. Besarnya temperatur rata-rata minuman selama pengujian tanpa es adalah 29,17°C dan saat menggunakan es diperoleh 24,57°C.
4. Dari data pengujian tampak bahwa untuk pengujian kotak pendingin dengan bantuan es diperoleh durasi temperatur minuman yang berada di bawah 25°C berkisar selama 4 jam 20 menit. Sedangkan bila tanpa bantuan es diperoleh durasi temperatur minuman yang berada di bawah 25°C berkisar 50 menit.

5. Untuk penelitian selanjutnya maka objek yang digunakan adalah buah-buahan dan sayuran serta sistem isolasi dioptimalkan.

Ucapan Terima Kasih

Penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi Kemenristek Dikti dan Lembaga Penelitian Universitas Sumatera Utara yang telah memberikan dana penelitian melalui Hibah Bersaing tahun 2016.

Daftar Pustaka

- [1] Handayani A. N., Ariyanti D., 2012, *Potency of Solar Energy Applications in Indonesia, International Journal of Renewable Energy Development*, 2, pp.33-38.
- [2] Rumbayan M., Nagasaka K., 2012, *Solar Irradiation Estimation With Neural Network Method Using Meteorological Data In Indonesia*, International Journal of Technology, 2, pp.110-120.
- [3] Junbeum Kim, Julio L. Rivera, Toon Yong Meng, Bertrand Laratte, Sha Chen, 2016, *Review of life cycle assessment of nanomaterials in photovoltaics*, Solar Energy 133, pp. 249-258.
- [4] Manasseh Obi, Robert Bass, 2016, *Trends and Challenges of Grid-Connected Photovoltaic Systems - A Review. Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 58, pp.1082-1094.
- [5] Omer AM., 2008, *Energy, Environment and Sustainable Development*. Renew Sustain Energy Rev pp. 2265-300.
- [6] Ravi Rachch, Manoj Kumar, Brijesh Tripathi, 2016, *Solar Photovoltaic System Design Optimization by Shading Analysis to Maximize Energy Generation from Limited Urban Area*.

- Energy Conversion and Management 115, pp. 244-252.
- [7] Khashab HE, Ghamedi MA., 2015, *Comparison Between Hybrid Renewable Energy Systems in Saudi Arabia*. J Electr Syst Inform Technol, 2, pp.111-119.
- [8] Azofra D, Jiménez E, Martínez E, Blanco J, Saenz-Díez JC., 2015, *Economical-Environmental Impact of Subsidised Renewable Energy Sources for Electricity (RES-E) in the Spanish System*. Energy Sustain Dev, 29, pp.47-56.
- [9] Hamdani, Dadan,dkk., 2011, *Analisis Kinerja Solar Photovoltaic System (SPS) berdasarkan tinjauan Efisiensi Energi dan Eksergi*, Jurnal Material dan Energi Indonesia, 2, pp. 84-92.
- [10] Siahaan, Agustinus.,dkk., 2012, *Implementasi Panel Surya yang diterapkan pada daerah terpencil di rumah tinggal di desa Sibuntuon, Kecamatan Habinsaran Tanjung Pinang*. Jurnal Teknik Elektro USU, 3, pp.1-13
- [11] Goldsmid, H.J., 1964, *Thermoelectric Refrigeration*. New York: Plenum Press.



Terang UHSG menyelesaikan studi S1 di Jurusan Teknik Fisika Institut Teknologi Bandung, pada tahun 1995, kemudian menyelesaikan program magister teknik di Jurusan Teknik Mesin Institut Teknologi Bandung pada tahun 2003. Bidang penelitian yang diminati adalah alat penukar kalor, teknik serta beberapa topik yang berkaitan dengan perpindahan panas



Tulus Burhanuddin Sitorus menyelesaikan studi S1 di Departemen Teknik Mesin Universitas Sumatera Utara, pada tahun 1997, kemudian menyelesaikan program magister teknik di Jurusan Teknik Mesin Institut Teknologi Bandung pada tahun 2001. Dan saat ini sedang mengikuti program doktor di Departemen Teknik Mesin Universitas Sumatera Utara. Bidang penelitian yang diminati adalah teknik pendingin, motor bakar serta beberapa topik yang berkaitan dengan termodinamika teknik.