

Performansi Kolektor Surya Pada Mesin Pendingin Yang Menggunakan Pasangan Adsorpsi Karbon Aktif Serbuk-Metanol

Tulus Burhanuddin Sitorus^{1,2*}, Syahrul Abda¹

¹Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik, Universitas Sumatera Utara,

²PUI Energi Berkelanjutan dan Biomaterial, Universitas Sumatera Utara,
Jl. Almamater Kampus USU, Medan, Indonesia 20155

Abstrak

Kolektor merupakan salah satu komponen utama dari mesin pendingin adsorpsi tenaga surya. Dapat dikatakan bahwa kolektor merupakan motor penggerak dari siklus yang terjadi pada mesin pendingin adsorpsi. Pada penelitian ini digunakan kolektor tipe plat datar dengan luas penampang $0,5 \text{ m}^2$ dan diisi dengan menggunakan pasangan adsorpsi karbon aktif serbuk-metanol. Proses pengujian dilakukan di lokasi yang terkena paparan radiasi matahari selama beberapa hari. Alat ukur cuaca digunakan untuk mengetahui parameter yang diukur seperti intensitas radiasi, temperatur dan kelembaban udara lingkungan. Sedangkan alat ukur termokopel yang terhubung dengan alat akuisisi data digunakan untuk merekam perubahan temperatur pada komponen kolektor dan mesin pendingin adsorpsi. Hasil eksperimental menunjukkan bahwa efisiensi kolektor yang diperoleh memiliki nilai maksimum sebesar 55,43%. Diperoleh juga pengaruh kondisi cuaca terhadap kinerja kolektor berdasarkan analisa statistik sebesar 72%.

Kata kunci: kolektor surya; performansi; mesin pendingin adsorpsi

Abstract

[Title: Performance of a Solar Collector in a Cooling Machine Using a Powder-Methanol Active Carbon Adsorption Pair] The collector is one of the main components of the solar adsorption refrigerator. It can be said that the collector is the prime mover of the solar adsorption refrigerator. In this study, a flat plate type collector was used with a cross-sectional area of 0.5 m^2 and was filled using powdered activated carbon. The testing process is carried out in a location that is exposed to solar radiation for several days. Weather measuring devices are used to determine the parameters such as radiation intensity, temperature, and air humidity. The thermocouple measuring device connected to the data acquisition tool is used to record temperature changes in the collector components and the adsorption refrigerator. The experimental results show that the maximum collector efficiency obtained at 55.43%. The influence of weather conditions on the collector performance based on a statistical analysis of 72%.

Keywords: solar collector; performance; adsorption refrigerator

1. Pendahuluan

Potensi keberadaan energi fosil Indonesia yang terdiri dari gas bumi, batubara dan minyak bumi diperkirakan dapat bertahan hanya sekitar 10 tahun, 31 tahun, dan 80 tahun dari saat ini bila cadangan energi

fosil yang baru tidak ditemukan (Sitorus, Napitupulu & Ambarita, 2016). Situasi ini menjadi peluang sekaligus tantangan bagi pemerintah terutama dalam menggalakkan pemanfaatan energi terbarukan. Salah satu energi terbarukan yang ramah lingkungan adalah energi surya. Setiap tahun matahari memberikan energi sebesar $5,6 \times 10^{24}$ joule ke permukaan bumi melalui radiasi termal (Sitorus, Napitupulu & Ambarita, 2017).

*) Penulis Korespondensi.

E-mail: burhanudin@yahoo.com

Merujuk kepada posisi astronomi negara Indonesia maka potensi energi surya di Indonesia cukup berlimpah. Berada di daerah khatulistiwa pada lintang 6° Lintang Utara (LU) - 11° Lintang Selatan (LS) dan 95° Bujur Timur (BT) - 141° Bujur Timur serta dengan memperhatikan peredaran matahari dalam setahun pada daerah $23,5^{\circ}$ LU dan $23,5^{\circ}$ LS maka wilayah Indonesia selalu memperoleh sinar matahari berkisar 2500 jam/tahun. Aplikasi energi termal matahari secara umum diterapkan untuk sistem pendinginan dan sistem pengeringan produk pertanian (Yunfeng *dkk.*, 2018; Ammar, Benhaoua & Bouras, 2016). Untuk sistem pendinginan maka salah satu peralatan yang digunakan adalah mesin pendingin adsorpsi yang terdiri atas tiga komponen utama yaitu kolektor, kondensor, dan evaporator (Chen *dkk.*, 2018; Cherrad *dkk.*, 2017). Perlu diketahui bahwa kolektor merupakan motor penggerak dari mesin pendingin adsorpsi tenaga surya karena sangat berperan menyerap radiasi surya sebagai sumber energi untuk mesin pendingin adsorpsi. Penelitian ini menggunakan kolektor jenis plat datar (*flat plate collector*). Kolektor tipe ini memiliki kelebihan diantaranya desainnya yang relatif sederhana, biaya pembuatan dan perawatan yang murah, dan umum dipergunakan pada mesin pendingin tenaga surya (Rashidi, Esfahani & Rashidi, 2017; Umair, Atsushi & Yuki, 2014). Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji kinerja kolektor surya dengan luas penampang $0,5 \text{ m}^2$ yang digunakan pada mesin pendingin adsorpsi dengan refrijeran metanol dan adsorben karbon aktif serbuk.

2. Metode Penelitian

Lokasi pengujian dilaksanakan di ruang terbuka yang terpapar sinar matahari dengan posisi astronomi pada $3,45^{\circ}$ Lintang Utara dan $98,44^{\circ}$ Bujur Timur serta berada pada ketinggian berkisar 37,5 meter di atas permukaan laut. Penelitian yang dilakukan bersifat kuantitatif dengan metode eksperimental. Tantangan dalam pengujian ini adalah proses pemvakuman alat uji. Di samping itu saat pengisian refrijeran ke dalam evaporator maka diperlukan kehati-hatian agar metanol tidak bocor dan menguap ke lingkungan sekitar. Hal ini mengingat bahwa metanol salah satu zat yang ikut mempengaruhi pemanasan global (*global warming*). Gambar 1 menampilkan kolektor surya yang diuji. Bagian dinding kolektor diisolasi dengan menggunakan kayu, styrofoam, rockwool, busa dan aluminium foil untuk mengurangi kerugian panas yang terjadi.

Besarnya kehilangan kalor total pada sisi kolektor terlihat dari Persamaan 1 (Duffie, 2016).

$$Q_{total} = Q_{dinding} + Q_{bawah} + Q_{atas} + Q_{radiasi} \quad (1)$$

Kinerja dari kolektor surya yang diuji dapat diketahui dari Persamaan 2 (Kalogirou, 2009).

$$\eta = \frac{Q_b}{I \cdot A} \quad (2)$$

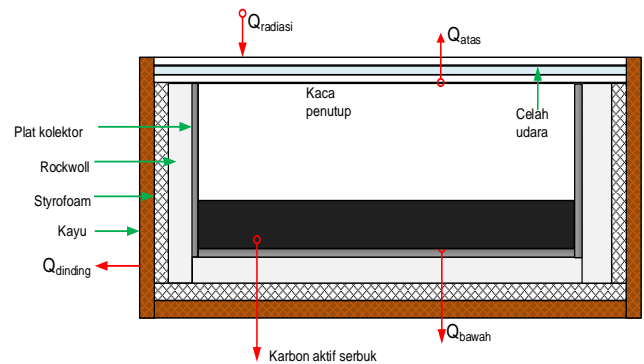
Sedangkan perolehan energi panas menggunakan Persamaan 3 dan 4.

$$Q_b = F' \times (Q_{masuk} - Q_{total}) \quad (3)$$

dan

$$Q_{masuk} = I \cdot A \cdot \tau \cdot \alpha \quad (4)$$

Parameter τ merupakan konstanta yang menyatakan nilai absorptivitas plat kolektor yang berwarna hitam sebesar 0,98 dan F' atau faktor efisiensi kolektor bernilai 90% untuk kolektor tipe plat datar. Perlu diketahui bahwa menurut (Mahesh, 2017; Fernandes *dkk.*, 2014) bahwa massa adsorben yang dapat diisi di dalam kolektor berkisar $20\text{-}26 \text{ kg/m}^2$. Terdapat beberapa pasangan adsorben-adsorbat yang digunakan pada mesin pendingin adsorpsi yaitu karbon aktif-metanol, karbon aktif-amonia, silika gel-air dan zeolite-air. Karena kolektor surya merupakan komponen utama yang terintegrasi dengan mesin pendingin adsorpsi maka perlu diketahui parameter kinerja dari mesin pendingin adsorpsi yaitu COP (*coefficient of performance*). Berdasarkan penelitian dari (Farhana *dkk.*, 2007; Mahmoud, 2017) bahwa nilai COP untuk mesin pendingin adsorpsi tenaga surya berkisar dari 0,01 hingga 0,2. Penerapan dari mesin pendingin adsorpsi umumnya terdiri atas tiga fungsi yaitu untuk refrijerasi makanan dan penyimpanan vaksin ($0\text{-}8^{\circ}\text{C}$), untuk mendinginkan udara ruangan ($8\text{-}18^{\circ}\text{C}$), dan untuk pembekuan es serta tujuan pengentalan ($< 0^{\circ}\text{C}$) (Mehdi, Yogi & Elias, 2015).



Gambar 1. Dinding penampang kolektor yang diuji

Kinerja dari mesin pendingin adsorpsi yang digerakkan oleh kolektor surya dapat ditentukan dengan Persamaan 5.

$$COP = \frac{Q_{pendinginan}}{Q_{radiasi}} \quad (5)$$

dimana besarnya efek pendinginan (kJ) dapat diketahui dari Persamaan 6.

$$Q_{\text{pendinginan}} = m_{\text{air}} \cdot C_{p\text{-air}} \cdot (T_{\text{air-maks}} - T_{\text{air-min}}) \quad (6)$$

Jumlah intensitas radiasi matahari yang diterima permukaan kolektor (kJ) dapat ditentukan dari Persamaan 7.

$$Q_{\text{radiasi}} = I_{\text{radiasi}} \cdot A_{\text{kolektor}} \quad (7)$$

dimana I_{radiasi} merupakan jumlah intensitas radiasi total untuk satu siklus berdasarkan hasil pengukuran dan A_{kolektor} merupakan luas penampang dari kolektor (m^2).

Tabel 1 menampilkan spesifikasi dari kolektor surya yang dirakit. Pada penelitian ini digunakan adsorbat atau refrigeran metanol pro analisis dengan kemurnian 99% sebanyak 3 liter. Media yang didinginkan adalah air sebanyak tiga liter. Sedangkan adsorben yang digunakan adalah karbon aktif bubuk non komersial dengan spesifikasi seperti tampak pada tabel 2. Bentuk kolektor surya yang dirakit dan telah terintegrasi dengan komponen mesin pendingin surya lainnya dapat dilihat pada Gambar 2.

Gambar 3 menampilkan skema eksperimental yang dirancang. Prinsip kerja dari skema pengujian dapat diuraikan sebagai berikut. Saat siang hari, kolektor surya menyerap radiasi surya serta meneruskannya ke adsorben karbon aktif serbuk yang ada di dalam kolektor. Sebagian radiasi surya yang menerpa pada permukaan kaca penutup akan diserap kemudian sebagian akan langsung dipantulkan serta sebagian lagi akan diteruskan ke permukaan kolektor. Permukaan kolektor selanjutnya akan menyerap radiasi surya dan kalor yang diserap digunakan untuk memanaskan adsorben karbon aktif serbuk tersebut. Akibat energi panas yang diterima permukaan kolektor membuat permukaan adsorben melepaskan metanol sehingga menjadi terpisah dan selanjutnya bergerak menuju kondensator untuk mengalami proses kondensasi.

Seperti telah disebutkan sebelumnya bahwa kolektor surya yang dirakit terintegrasi dengan komponen mesin pendingin adsorpsi yang lain seperti kondensator, dan evaporator. Kolektor yang diuji memiliki luas penampang $0,5 \text{ m}^2$ dan memiliki sudut kemiringan 30° . Komponen kondensator dibuat dari bahan baja tahan karat dengan luas total penampang perpindahan panas $0,8 \text{ m}^2$. Pada penelitian ini permukaan kolektor didinginkan secara konveksi alamiah oleh udara lingkungan. Untuk komponen evaporator dibuat dari baja tahan karat dan diisi dengan refrigeran metanol sebanyak 3 liter. Objek yang didinginkan berupa air sebanyak 3 liter diletakkan di dalam ruang dingin (*cold chamber*) dan selanjutnya diisolasi dengan *styrofoam* dan *rockwool*.

Tabel 1. Spesifikasi kolektor surya yang dibuat

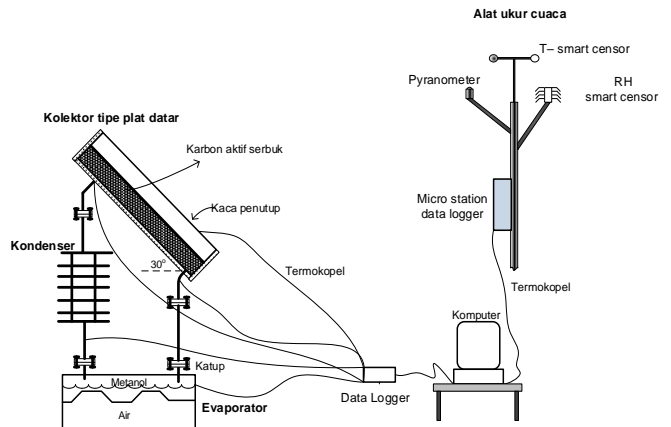
Parameter	Dimensi
Panjang x Lebar x Tebal	1000 x 500 x 100 mm
Luas permukaan kolektor	500 mm ²
Tebal kaca penutup	3 mm
Tebal plat kolektor	2 mm
Bahan	aluminium
Tebal isolasi	kayu 30 mm, <i>styrofoam</i> 30 mm, <i>rockwool</i> 20 mm

Tabel 2. Spesifikasi karbon aktif yang digunakan

Parameter	Rentang nilai
Massa jenis	352 - 545 kg/m ³
Pore volume	0,56 - 1,20 cm ³ /g
Diameter rata-rata pori	15-25 Å
Temperatur regenerasi	100 - 140 °C
Bentuk	serbuk



Gambar 2. Kondisi kolektor saat pengujian



Gambar 3. Skema eksperimental

Komponen utama mesin pendingin adsorpsi yang terdiri dari kolektor, kondensor dihubungkan oleh pipa fleksibel berdiameter 20 mm. Data akuisisi cole parmer yang terhubung dengan kabel termokopel tipe J (akurasi $\pm 0,4\%$) ditempatkan pada sisi kolektor, kondensor, evaporator, dan objek yang didinginkan. Untuk merekam parameter cuaca yang meliputi intensitas radiasi matahari dengan pyranometer (akurasi $\pm 5\%$), temperatur dan kelembaban udara dengan T (akurasi $\pm 0,2^\circ\text{C}$) dan RH (akurasi $\pm 2,5\%$) smart sensor digunakan alat ukur cuaca HOBO. Perubahan tekanan kerja pada mesin pendingin adsorpsi diukur dengan menggunakan tekanan vakum digital Pace XR5 yang memiliki tingkat akurasi $\pm 2\%$. Saat pengujian, digunakan juga pompa vakum dengan daya satu horse power yang bertujuan untuk mengeluarkan udara yang terdapat di dalam mesin pendingin karena dapat mempengaruhi proses adsorpsi terjadi. Gambar 4 menampilkan diagram Clayperon yang menggambarkan prinsip kerja dari mesin pendingin adsorpsi tenaga surya.

Secara ringkas prinsip kerja dari siklus mesin pendingin adsorpsi sesuai dengan gambar 4 adalah:

a. Proses pemanasan (*heating*) dari titik 1 ke titik 2

Pada kondisi ini, adsorben yang terdapat di dalam kolektor dipanaskan oleh radiasi surya hingga tekanannya mencapai tekanan uap adsorbat sehingga memungkinkan terjadinya pelepasan uap adsorbat dari permukaan adsorben.

b. Proses desorpsi dari titik 2 ke titik 3

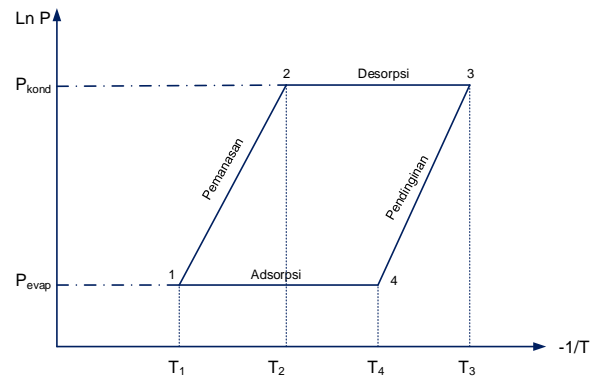
Pada proses desorpsi, setelah kondisi titik 2 tercapai maka penambahan panas dari radiasi surya menyebabkan terjadinya pelepasan uap adsorbat. Selanjutnya adsorbat dalam fasa uap mengalami proses kondensasi di kondenser dan masuk menuju ke evaporator.

c. Proses pendinginan (*cooling*) dari titik 3 ke titik 4

Pada proses pendinginan, tingkat intensitas radiasi surya mengalami penurunan. Hal ini menyebabkan tekanan maupun temperatur kolektor dan adsorben yang terdapat di kolektor ikut menurun. Proses pendinginan ini terjadi secara konveksi alamiah dan dipengaruhi oleh kondisi udara lingkungan.

d. Proses adsorpsi dari titik 4 ke titik 1

Pada kondisi malam hari, tekanan dan temperatur kolektor serta adsorben semakin menurun hingga tekanannya mencapai tekanan uap adsorbat sehingga membuat adsorben akan menyerap adsorbat kembali. Hal ini akan dimulainya proses adsorpsi. Pada proses adsorpsi, cairan adsorbat yang ada di dalam evaporator akan mengalami proses penguapan. Dalam proses penguapan tersebut maka adsorbat menyerap kalor yang terdapat pada dinding evaporator sebesar kalor latennya. Hal ini menyebabkan terjadinya proses pendinginan (*cooling effect*) di komponen evaporator. Pada hari berikutnya proses ini akan berulang kembali.

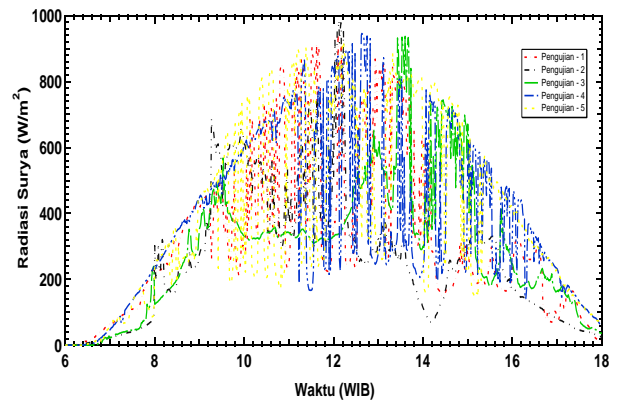


Gambar 4. Diagram Clayperon

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Kinerja Kolektor Surya dan Kondisi Cuaca

Berdasarkan proses pengukuran kondisi cuaca yang dilakukan selama beberapa hari maka diperoleh intensitas radiasi maksimum sebesar $988,60 \text{ W/m}^2$ pada siklus kedua. Intensitas radiasi maksimum dari hasil pengukuran umumnya terjadi pada pukul 11.49-13.36 WIB dan temperatur udara maksimum terjadi pada pukul 12.17-14.11 WIB. Data dari rekaman alat ukur pyranometer selama proses pengujian menunjukkan bahwa intensitas radiasi mulai tampak diantara pukul 06.12-06.28 WIB dan mulai hilang diantara pukul 18.11-18.33 WIB. Diperoleh juga lama penyinaran radiasi matahari maksimum yang terdapat pada siklus ketiga sebesar 12,59 jam/hari dan minimum pada siklus kedua sebesar 12,11 jam/hari. Kondisi intensitas radiasi surya diukur ditampilkan pada gambar 5. Selama proses pengukuran, kondisi intensitas radiasi selalu berfluktuasi setiap saat. Rekapitulasi parameter rata-rata cuaca selama pengujian tampak pada tabel 3. Rekapitulasi tersebut meliputi kondisi rata-rata dari radiasi matahari, temperatur lingkungan dan kelembaban relatif udara selama pengujian untuk lima siklus.



Gambar 5. Kondisi intensitas radiasi saat pengujian

Tipe kolektor yang digunakan pada penelitian adalah plat datar dengan luas penampang 0,5 m². Sebagai salah satu komponen utama, kolektor merupakan motor penggerak dari mesin pendingin adsorpsi tenaga matahari. Kinerja kolektor surya tipe plat datar sangat ditentukan oleh temperatur permukaan kolektor.

Gambar 6 menunjukkan pola distribusi temperatur pada sisi kolektor dan permukaan kaca penutup pada pengujian hari pertama. Tampak bahwa terjadi fluktuasi temperatur pada permukaan kaca dan kolektor. Temperatur maksimum pada sisi kolektor bagian atas berkisar 120,11°C. Sedangkan temperatur maksimum pada permukaan kaca adalah 79,35°C. Radiasi matahari yang diterima oleh permukaan kaca diteruskan menuju ke dalam kolektor. Permukaan kolektor sisi atas dan sisi bawah yang berwarna hitam menyerap radiasi tersebut untuk memanaskan adsorben yang terdapat di dalam kolektor. Fluktuasi temperatur permukaan kaca dan kolektor tersebut turut dipengaruhi oleh intensitas radiasi yang diterima permukaan kolektor.

Efisiensi kolektor dan parameter yang mempengaruhinya seperti jumlah panas yang hilang, jumlah panas yang masuk dan jumlah panas yang berguna. Ini dapat dilihat pada Tabel 4. Jumlah panas yang hilang merupakan penjumlahan dari panas radiasi, panas sisi atas, panas sisi bawah dan panas sisi dinding dari kolektor.

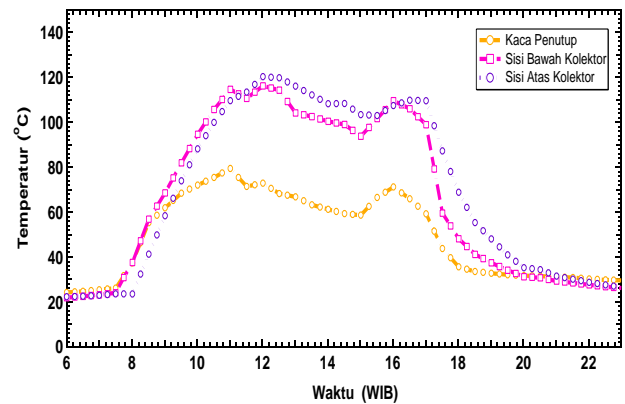
Gambar 7 menampilkan efisiensi kolektor surya yang diperoleh terhadap waktu. Dengan menerapkan data hasil pengukuran dan hasil perhitungan maka diperoleh besarnya nilai efisiensi kolektor dari rentang 51,45-55,43%. Beberapa parameter yang mempengaruhi efisiensi kolektor yaitu luas permukaan kolektor, intensitas radiasi serta kerugian kalor yang terjadi. Untuk menangkap radiasi matahari sekaligus mengurangi kerugian panas yang mengalir ke udara luar maka digunakan kaca penutup kolektor yang terdiri dari dua lapis. Supaya kolektor dapat bekerja secara optimal maka pada saat proses desorpsi terjadi maka komponen ini harus mampu menghasilkan temperatur permukaan kolektor yang maksimum atau kerugian kalor yang dilepaskan kolektor harus seminimal mungkin. Sebaliknya, ketika proses desorpsi selesai maka permukaan kolektor harus dapat mencapai temperatur seminimal dengan cara melepaskan kalor semaksimal mungkin sehingga proses adsorpsi berlangsung maksimal di malam hari.

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa kerugian kalor yang cukup besar adalah akibat radiasi dari sisi atas kolektor. Analisa dari kondisi ini dapat diuraikan sebagai berikut. Dibutuhkan temperatur yang cukup tinggi pada permukaan kolektor untuk dapat memanaskan adsorben karbon aktif serbuk yang terdapat

di dalamnya. Namun, kondisi ini turut meningkatkan koefisien perpindahan kalor total pada bagian sisi atas yang secara simultan menambah jumlah kalor yang hilang pada sisi bagian atas kolektor surya. Korelasi distribusi tekanan pada kolektor dengan intensitas radiasi surya pada pengujian hari pertama ditampilkan pada Gambar 8.

Tabel 3. Kondisi cuaca selama pengujian

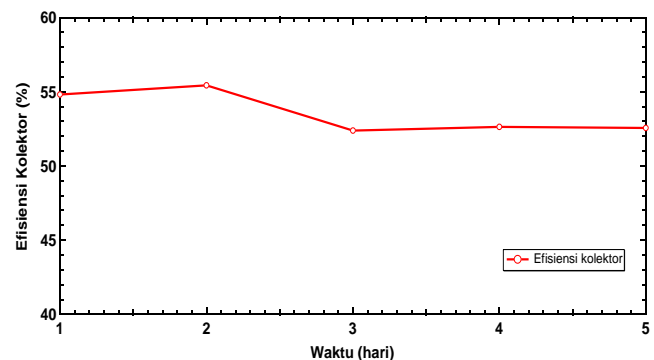
Waktu penelitian Mei 2019	Siklus	Radiasi rata-rata (W/m ²)	Temperatur lingkungan rata-rata (°C)	Kelembaban relatif rata-rata (%)
1 - 2	1	162	29,18	79,11
2 - 3	2	129	28,23	74,78
3 - 4	3	149	28,69	75,43
4 - 5	4	192	29,45	80,32
5 - 6	5	195	29,72	81,33



Gambar 6. Kondisi temperatur pada sisi kolektor dan kaca penutup pada hari pertama

Tabel 4. Performansi kolektor surya selama pengujian

Siklus	Q _{panas yang hilang} (W)	Q _{masuk} (W)	Q _{berguna} (W)	η _{kolektor} (%)
1	264.988	737.447	425.213	54.81
2	270.651	768.560	448.118	55.43
3	282.593	728.736	401.529	52.38
4	283.037	735.503	407.219	52.63
5	276.177	716.058	395.892	52.56



Gambar 7. Efisiensi kolektor surya versus waktu

Intensitas radiasi yang berfluktuasi turut berpengaruh terhadap perubahan tekanan yang terjadi di dalam kolektor. Lamanya proses pendinginan hingga adsorpsi berkisar 14 jam dan temperatur pemanasan hingga desorpsi sekitar 10 jam dalam satu siklus. Secara umum proses pemanasan hingga desorpsi umumnya terjadi mulai pukul 08.00 WIB sedangkan proses pendinginan hingga adsorpsi terjadi mulai pukul 17.00 WIB.

Tekanan operasional hasil pengukuran selama pengujian berkisar 0,101-0,798 bar. Umumnya tekanan operasional maksimum terjadi pada pukul 12.00-13.30 WIB dan tekanan operasional minimum terjadi pada pukul 04.00-06.00 WIB. Temperatur permukaan kolektor maksimum selama proses pengujian diperoleh 120,21°C dengan radiasi maksimum 988,60 W/m². Pada penelitian ini, turut dipantau kondisi perubahan temperatur air sebagai objek yang didinginkan dimana temperatur air minimum yang diperoleh selama pengujian berkisar 1,57°C. Turut diamati juga hubungan atau korelasi antara kinerja kolektor surya yang diuji dengan kondisi parameter cuaca selama proses pengujian. Faktor yang mempengaruhi variasi nilai efisiensi kolektor tersebut diantaranya intensitas radiasi dan luas permukaan kolektor. Dengan menggunakan analisa statistik, diperoleh korelasi yang cukup kuat antara pengaruh intensitas radiasi terhadap efisiensi kolektor berkisar 0,839 seperti yang ditunjukkan pada tabel 5. Secara keseluruhan diperoleh juga pengaruh parameter cuaca yang meliputi temperatur udara, kelembaban relatif dan intensitas radiasi terhadap kinerja kolektor surya yang diuji sebesar 72% dengan menggunakan analisis regresi berganda.

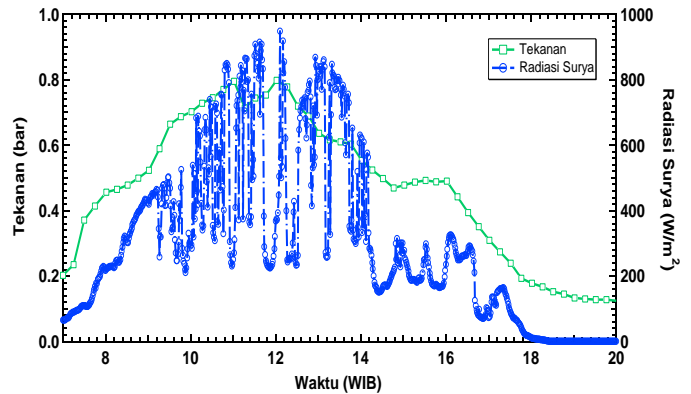
3.2. Analisa Performansi Mesin Pendingin Adsorpsi

Proses pengujian performansi mesin pendingin adsorpsi dimulai dari pukul 08.00 WIB hingga pukul 08.00 WIB besok hari selama 24 jam. Performansi dari sistem mesin pendingin adsorpsi tenaga surya dapat diketahui dari besarnya nilai koefisien performansi (COP) yang diperoleh. Tabel 6 menampilkan nilai COP yang diperoleh selama pengujian. Berdasarkan hasil pengukuran dan perhitungan maka diperoleh nilai koefisien performansi mesin pendingin diantara 0,0565-0,0759. Tampak juga besarnya nilai kalor pendinginan dan kalor radiasi yang terjadi untuk setiap siklus selama proses pengujian.

Data hasil eksperimental yang telah dianalisa menunjukkan bahwa variabel utama yang berpengaruh terhadap kinerja sistem mesin pendingin adsorpsi yang diuji adalah kinerja kolektor, besarnya intensitas radiasi yang diterima permukaan kolektor dan waktu yang dibutuhkan untuk proses satu siklus. Seperti diketahui bahwa perubahan intensitas radiasi cukup dipengaruhi

oleh kondisi langit seperti cerah (*bright*) dan berawan (*cloudy*). Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan bahwa karbon aktif yang digunakan memiliki kemampuan adsorpsi 250-260 ml/kg untuk temperatur pemanasan dari 125-150°C.

Hal ini mengindikasikan bahwa adsorben karbon aktif tersebut memiliki kemampuan penyerapan yang cukup baik terhadap refrijeran metanol. Karbon aktif berfungsi sebagai adsorben untuk mengikat adsorbat atau refrijeran pada saat proses adsorpsi dan saling terpisah pada saat proses desorpsi. Pengaruhnya adalah saat proses adsorpsi terjadi maka proses pendinginan terhadap objek yang didinginkan dapat terjadi secara optimal. Karena seluruh refrijeran yang terdapat di evaporator akan diserap oleh adsorben karbon aktif yang terdapat di kolektor. Namun data pengukuran menunjukkan bahwa temperatur kolektor maksimum yang dapat dicapai selalu di bawah temperatur 150°C.



Gambar 8. Korelasi distribusi tekanan pada kolektor dengan intensitas radiasi surya

Tabel 5. Korelasi parameter cuaca terhadap efisiensi kolektor surya

Parameter	Intensitas radiasi	Temperatur udara	Kelembaban udara	Efisiensi kolektor
Intensitas radiasi	1			
Temperatur udara	0.835	1		
Kelembaban udara	-0.722	-0.979	1	
Efisiensi kolektor	0.839	0.699	-0.617	1

Tabel 6. Nilai COP selama pengujian

Siklus	Q _{pendinginan} (W)	Q _{radiasi} (W)	Nilai COP
1	364.39	4191.61	0.0869
2	360.19	3350.85	0.1075
3	366.24	3852.98	0.0951
4	398.16	4968.26	0.0801
5	403.03	5059.31	0.0797

Kondisi ini membuat kemampuan dari adsorben dalam melepaskan metanol saat proses desorpsi menjadi kurang maksimal. Disamping itu, terdapatnya gas yang tidak diinginkan (*unwanted gasses*) di dalam komponen mesin pendingin sangat berkorelasi dengan sistem pemvakuman saat pengujian. Umumnya, tekanan operasional normal dari mesin pendingin adsorpsi yang menggunakan refrijeran metanol sekitar 0,02-0,2 bar, namun tekanan operasional dari hasil pengujian berkisar 0,101-0,798 bar. Peningkatan kinerja kolektor perlu dimaksimalkan dengan mengurangi kerugian kalor saat proses radiasi dengan memperbaiki sistem isolasi pada dinding kolektor. Disamping itu perlu penyempurnaan dalam sistem pendinginan kolektor secara konveksi alami untuk meningkatkan efisiensi kolektor.

Proses perpindahan panas pada saat pendinginan permukaan kolektor yang terjadi secara konveksi alami dipengaruhi oleh kondisi cuaca. Secara umum, laju perpindahan panas dan massa yang terjadi di dalam kolektor cukup rendah dan hal ini membutuhkan waktu yang lama untuk proses satu siklus. Perlu diketahui bahwa untuk mesin pendingin siklus adsorpsi yang digerakkan oleh radiasi matahari umumnya memiliki temperatur permukaan kolektor dibawah 150°C. Hal ini terjadi karena proses pemanasan kolektor dipengaruhi kondisi cuaca sehingga intensitas radiasi surya tidak dapat konstan. Radiasi surya yang diserap oleh permukaan kolektor surya tersebut digunakan untuk memanaskan karbon aktif serbuk sehingga metanol dapat terlepas dari adsorben pada saat proses desorpsi. Semakin banyak radiasi surya yang dikumpulkan kolektor maka hal ini akan membuat temperatur adsorben semakin tinggi. Efeknya, volume metanol yang dilepaskan oleh karbon aktif serbuk akan semakin besar sehingga volume metanol yang terdapat pada komponen evaporator menjadi meningkat. Meningkatnya jumlah refrijeran di evaporator akan semakin meningkatkan efek pendinginan dalam siklus adsorpsi.

4. Kesimpulan

Kinerja kolektor dengan luas penampang 0,5 m² yang menggunakan pasangan adsorpsi karbon aktif serbuk-metanol telah diuji dan dianalisa. Kolektor surya yang diuji terintegrasi dengan komponen mesin pendingin adsorpsi yang lain seperti kondensor dan evaporator. Data eksperimental menunjukkan bahwa performansi dari kolektor dipengaruhi oleh parameter cuaca saat pengujian dan luas permukaan kolektor. Efisiensi kolektor yang diperoleh selama pengujian berkisar diantara 51,45-55,43%. Analisa statistik yang dilakukan menyatakan bahwa pengaruh parameter cuaca terhadap kinerja kolektor berkisar 72%.

Ucapan Terima Kasih

Terima kasih disampaikan kepada DRPM Kemenristekdikti RI Tahun Anggaran 2019 atas Hibah Penelitian Terapan Unggulan Perguruan Tinggi (PTUPT) yang telah diberikan.

Daftar Pustaka

- Cherrad, N., Benchabane, A., Sedira, L., & Rouag, A. (2018). Transient numerical model for predicting operating temperatures of solar adsorption refrigeration cycle. *Applied Thermal Engineering*, 130, 1163-1174.
- Chen, Q. F., Du, S. W., Yuan, Z. X., Sun, T. B., & Li, Y. X. (2018). Experimental study on performance change with time of solar adsorption refrigeration system. *Applied Thermal Engineering*, 138, 386-393.
- Duffie, J.A. (2006). *Solar Engineering of Thermal Processes*, 3rd Ed., New York: Wiley.
- Farhana, K., Kadirgama, K., Rahman, M. M., Ramasamy, D., Noor, M. M., Najafi, G., ... & Mahamude, A. S. F. (2019). Improvement in the performance of solar collectors with nanofluids—A state-of-the-art review. *Nano-Structures & Nano-Objects*, 18, 100276.
- Fernandes, M. S., Brites G. J. V. N., Costa J.J., Gaspar A.R., & Costa V.A.F. (2014). Review and future trends of solar adsorption refrigeration systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 39 102-123.
- Ammar, M. H., Benhaoua, B., & Bouras, F. (2017). Thermodynamic analysis and performance of an adsorption refrigeration system driven by solar collector. *Applied Thermal Engineering*, 112, 1289-1296.
- Kalogirou, S. (2009). *Solar Energy Engineering Process and Systems*. USA : The Cyprus University of Technology.
- Mahmoud A. S., Gyula G., & Omid M. (2017). Experimental Study on the Performance of a Flat-Plate Collector Using WO₃/Water Nanofluids, *Energy*, 2436-2444.
- Mahesh, A.. (2017). Solar collectors and adsorption materials aspects of cooling system. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 73, 1300-1312
- Mehdi, Z., Yogi, G. & Elias S. (2015). A review of solar thermo-mechanical refrigeration and cooling methods. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 51, 1428 - 1445.
- Rashidi, S., Esfahani, J. A., & Rashidi, A. (2017). A review on the applications of porous materials in solar energy systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 73, 1198-1210.

- Sitorus, T.B., Napitupulu F.H., & Ambarita H. (2016). Experimental Study of Solar Refrigerator System Using Activated Alumina and Methanol Adsorption Pair. *International Journal of Technology*, 7(5), 910-920.
- Sitorus, T.B., Napitupulu, F.H., & Ambarita, H. (2017). A Study on Adsorption Refrigerator Driven by Solar Collector Using Indonesian Activated Carbon. *Journal of Engineering and Technological Sciences*, 49(5), 657-670.
- Umair, M., Atsushi, A., & Yuki, U. (2014). Performance Evaluation of a Solar Adsorption Refrigeration System with a Wing Type Compound Parabolic Concentrator. *Energies*, 7, 1448-1466.
- Yunfeng, W., Ming, L., Xu, J., Qiongfeng, Y., Guoliang, L., & Xun, M. (2018). Experimental study of the effect of enhanced mass transfer on the performance improvement of a solar-driven adsorption refrigeration system. *Applied Energy*, 224, 417-425.