

EFEK PENTUP KACA RANGKAP TERHADAP PERFORMANCE KOLEKTOR SURYA BERDASARKAN TERMODINAMIKA DAN PERPINDAHAN PANAS

Sri Wuryanti^{1*}, Risha Pratiwi S.¹, Rizky Mutiarani²
^{1,2,3} Jurusan Teknik Konversi Energi Politeknik Negeri Bandung
 Jln. Gegerkalong Hilir, Ds. Ciwarga, Bandung 40012, Indonesia
 *Email: sriwuryanti.lamda@gmail.com

Abstrak

Kolektor surya merupakan alat pengumpul panas matahari yang dilengkapi penyerap panas yang bisa menyimpan panas dalam waktu yang lama. Kolektor surya terdiri dari kotak kolektor yang permukaannya dilapisi kaca sedangkan dasarnya di cat hitam dengan ukuran 0.9 m x 0.6 m x 0.1 m, dengan dua kaca penutup. Penutup rangkap ini diharapkan mampu menyimpan panas yang lebih baik, sehingga akan diperoleh efisiensi yang lebih baik dibandingkan menggunakan satu kaca penutup, karena dengan dua penutup kaca akan mengurangi panas yang terbuang (*losses*). Panas yang didapat oleh kolektor akan diteruskan ke udara bergerak yang kemudian dapat digunakan untuk berbagai proses. Pengujian dilakukan hanya sampai pada kemampuan system kolektor surya mengabsorpsi panas matahari yang dilakukan dengan pengambilan data temperature kolektor, temperature udara dan laju udara setiap. Hasil dari data-data dianalisa dengan menghitung unjuk kerja (efisiensi) ditinjau dari perpindahan panas maupun dari termodinamika. Efisiensi terbesar berdasarkan termodinamika yang didapatkan pada pengujian pertama dengan kondisi cuaca cerah dan pengujian kedua dengan kondisi cuaca mendung berturut-turut yaitu 75.12% dan 72.81%, sedangkan jika ditinjau dari perpindahan panas berturut-turut yaitu sebesar 76,15% dan 80.53%.

Kata kunci: absorber, energi radiasi, kaca penutup, kolektor surya, udara

1. PENDAHULUAN

Energi matahari saat ini dianggap sebagai salah satu sumber energi bersih, bebas, dan terbarukan yang paling penting dengan efek lingkungan minimum (Ahmed Kadhim Hussein, et al., 2017). Seiring perkembangan zaman teknologi energi alternatif dengan memanfaatkan sinar matahari semakin berkembang, salah satunya adalah kolektor surya. Kolektor ini menggunakan pelat berbentuk lembaran yang berfungsi untuk menyerap pancaran energi matahari yang datang dan memindahkan kalor yang diterima tersebut ke fluida kerja yaitu udara. Bagian atas kolektor digunakan penutup transparan. Bagian bawah dan samping dari kolektor surya ini diberi isolator agar tidak terjadi kerugian panas ke lingkungan. Jumlah kaca penutup dari kolektor mempengaruhi kinerja kolektor. Kolektor dengan dua buah kaca penutup mampu memiliki daya simpan panas yang lebih baik, sehingga menggunakan dua buah kaca penutup diperoleh efisiensi yang lebih baik dibandingkan hanya menggunakan satu kaca penutup.

2. METODOLOGI PENELITIAN

Metode yang dilakukan didalam penelitian ini adalah menggunakan kolektor surya plat datar bersirip dengan dua kaca penutup. Material penutup kaca yang digunakan adalah *acrylic* yang diisolasi dua lapisan yakni *styrofoam* dan *glasswool* dengan berjarak 2 cm antar lapisan satu dan kedua, yang masing-masing memiliki tebal 2.0 mm. Parameter-parameter yang dibutuhkan untuk mengetahui kinerja dari kolektor surya, adalah temperatur plat absorber, temperatur lingkungan, temperatur output, intensitas radiasi matahari (W/m^2), intensitas radiasi matahari kumulatif (kWh/m^2). Parameter-parameter tersebut digunakan untuk menghitung efisiensi kolektor surya berdasarkan perpindahan panas dan termodinamika.

2.1 Metode Berdasarkan Termodinamika

i. Menghitung energi yang diterima kolektor (Q_{in})

$$Q_{in} = \frac{I_k \times A_c}{\cos \theta} \quad (1)$$

Dimana, I_k adalah radiasi matahari total pada

kolektor persatuan luas dan waktu (kWh/m^2); A_c adalah luas koektor, (m^2); θ adalah sudut Azimuth ($^\circ$).

ii. Menghitung energi berguna

Nilai ρ_{udara} dan C_p di dapatkan pada Tabel sifat-sifat udara pada temperatur film, dan eneri berguna dapat dihitu menggunakan persamaan (ASHRAE 93-2010 RA, 2014):

$$Q_{out} = \dot{m} \times c_p \times (T_{out} - T_{in}) \quad (2)$$

Dimana, \dot{m} adalah laju alir massa udar; c_p adalah kapasitas panas fluida (J/K); ΔT adalah selisih $T_{out} - T_{in}$ ($^\circ\text{C}$).

iii. Menghitung Effisiensi kolektor berdasarkan termodinamika

$$Eff = \frac{Q_{out}}{Q_{in}} \times 100 \% \quad (3)$$

2.2. Metode Berdasarkan Perpindahan Panas

i. Menghitung Kalor Radiasi (Q_{in})

$$Q_{in} = I_{T\theta} \times A \times (\tau\alpha)_e \quad (4)$$

Dimana, $(\tau\alpha)_e$ adalah produk penyerapan absorpsi efektif. $(\tau\alpha)_e$ dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$(\tau\alpha)_e = \frac{\tau\alpha}{1 - (1 - \alpha)\rho} \quad (5)$$

Dimana, α adalah absorpsi/penyerapan permukaan absorber hitam, τ adalah transmitans pelat penutup; ρ adalah *reflectance*/pantulan dari pelat penutup

ii. Menghitung transmitans pelat penutup dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$\tau = \frac{1}{2} \left[\frac{1 - \rho_p}{1 + (2N - 1)\rho_p} + \frac{1 - \rho_s}{1 + (2N - 1)\rho_s} \right] \exp \left(- \frac{Kt}{\cos \theta_2} \right) \quad (6)$$

Dimana, K adalah Koefisien *Extinction* material penutup transparan; T adalah total ketebalan dari N penutup; θ_2 adalah sudut *refraction*

iii. Menghitung kalor yang berguna (Q_u)

Nilai energi yang bergna dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan berikut (Yousefi, T., et al., 2012):

$$Q_u = A [I_{T\theta}(\tau\alpha)_e - U_L(T_p - T_a)] \quad (7)$$

Dimana Q_u adalah panas yang berguna yang terkumpulkan dari kolektor (W); T_p adalah Temperature rata-rata plat absorber ($^\circ\text{C}$); T_a adalah Temperatur ambient ($^\circ\text{C}$); U_L adalah koefisien kehilangan panas keseluruhan didefinisikan sebagai tingkat kehilangan panas dari kolektor persatuan luas per unit perbedaan suhu antara plat absorber dan ambient ($\text{W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$). U_L dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$U_L = U_T + U_b + U_s \quad (8)$$

Dengan:

$$U_T = \left[\frac{N}{\frac{c}{T_p} \times \left(\frac{T_p - T_a}{N + f} \right)^{0.252} + \frac{1}{h_w}} \right]^{-1} + \left[\frac{\sigma \times (T_p^2 - T_a^2) \times (T_p + T_a)}{\frac{1}{\varepsilon_p + 0.0425N(1 - \varepsilon_p)} + \frac{2N + f - 1}{\varepsilon_g} - N} \right]$$

$$f = 0.9556 - 0.211 \times h_w + \left(1 + \frac{N - 1}{N + 3} \right) \times$$

$$C = \frac{h_w^2}{204.429} \frac{(\cos \beta)^{0.252}}{L^{0.24}}$$

$$U_b = \frac{\lambda}{\delta b} \quad \text{dan} \quad U_s = \frac{2L_3 \times (L_1 + L_2)}{L_1 \times L_2} + U_b$$

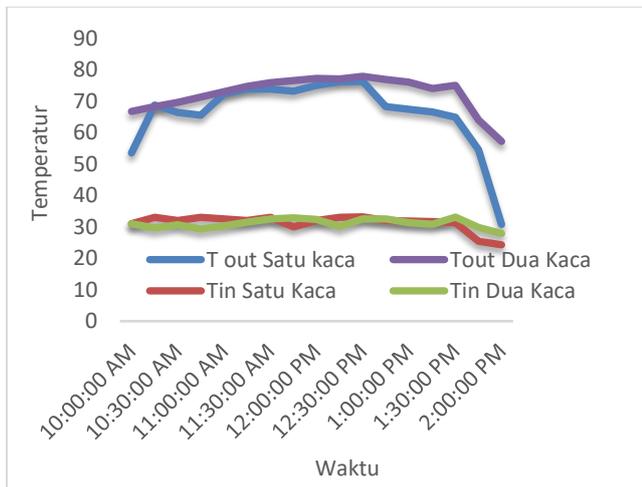
iv . Menghitung Efisiensi Kolektor berdasarkan perpindahan panas

$$\eta = \frac{Q_u}{Q_{in}} * 100\% \quad (9)$$

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

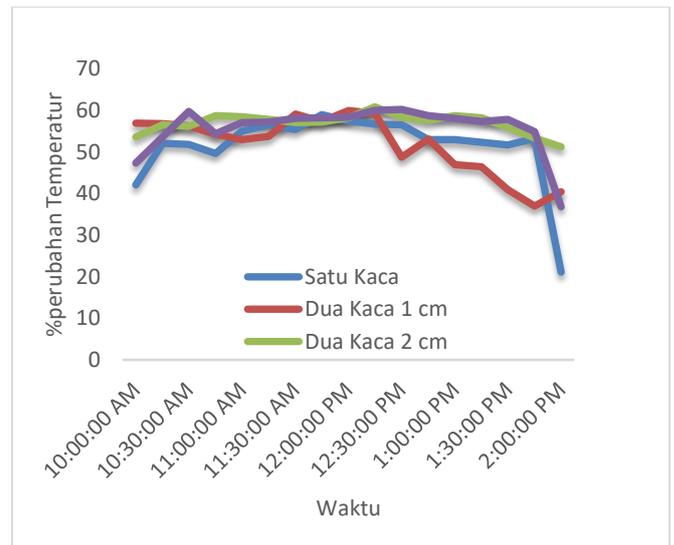
Berdasarkan data hasil pengujian didapatkan grafik perbandingan panas keluaran kolektor antara menggunakan satu kaca penutup dan dua

kaca penutup yang memiliki jarak 2 cm terhadap waktu yang ditunjukkan pada grafik berikut :



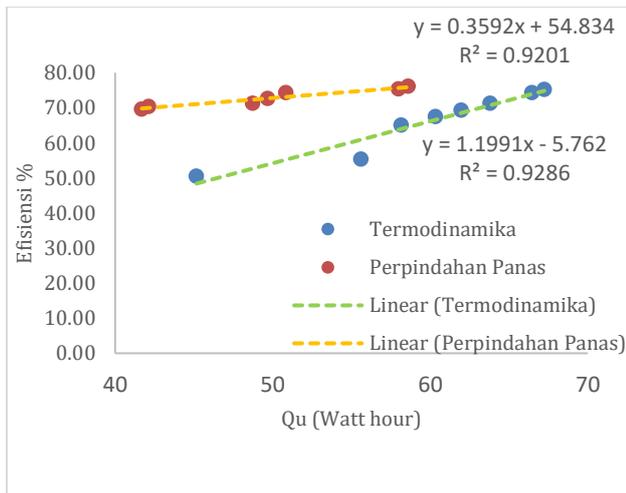
Gambar 1. Grafik hubungan waktu terhadap Tout menggunakan satu kaca dan dua kaca penutup berjarak 2 cm

Gambar 1 menunjukkan bahwa temperatur keluaran kolektor dengan menggunakan dua kaca penutup lebih besar dibandingkan dengan satu kaca penutup. Hal ini disebabkan karena terdapat lapisan udara diantara dua kaca penutup yang menyebabkan semakin sedikit panas yang hilang lewat permukaan atas kolektor sehingga memiliki temperatur yang lebih tinggi. Perubahan intensitas radiasi matahari yang signifikan menyebabkan turunnya temperatur keluaran kolektor tetapi dengan menggunakan dua kaca penutup panas yang ada di dalam kolektor masih bisa terjaga karena memiliki daya simpan panas lebih baik sehingga tidak mengalami penurunan temperatur yang signifikan seperti menggunakan satu kaca penutup yang panasnya mudah hilang lewat permukaan atas. Temperatur tertinggi yang dimiliki oleh satu kaca penutup sebesar 76.3°C dengan intensitas sebesar 562 W/m², sedangkan temperature tertinggi yang dimiliki oleh dua kaca penutup yaitu sebesar 77.9 °C dengan intensitas radiasi sebesar 557 W/m². Perbedaan temperatur keluaran ini kemudian mengecil mulai pukul 12.30 dimana sejalan dengan menurunnya intensitas cahaya total matahari yang mengenai kolektor (Brownson, 2014).



Gambar 2. Grafik hubungan waktu terhadap perubahan temperatur dengan variasi jarak antar kaca

Gambar 2 menunjukkan bahwa besar perubahan temperatur paling tinggi yaitu dimiliki oleh dua kaca penutup dengan jarak 2 cm sebesar 60.8%, selain itu persen perubahan pada kondisi ini cenderung konstan dan cocok dengan kebutuhan yaitu untuk menyuplai panas ke box pengering. Jarak antar kaca sebesar satu cm, memiliki nilai sebesar 59.9% akan tetapi ketika intensitas radiasi surya menurun, panas pada kolektor ikut menurun lebih cepat jika dibandingkan dengan kondisi yang memiliki jarak 2cm, hal ini disebabkan karena jarak yang terlalu kecil memiliki lapisan udara yang lebih sedikit untuk menahan panas yang ada pada kolektor. Nilai tertinggi yang dimiliki jarak kaca penutup sebesar 3 cm yaitu 60.21% membutuhkan waktu lebih untuk mentransmisikan intensitas ke kolektor, hal ini memberikan pertanda bahwa penggunaan dua buah kaca dengan jarak 3 cm akan lebih efektif jika digunakan ditempat yang menerima intensitas cahaya yang besar, tetapi jika kolektor hanya diterpa intensitas cahaya yang kecil saja, justru akan mengurangi intensitas yang tertransmisikan ke kolektor, sehingga kaca menjadi penghambatnya.



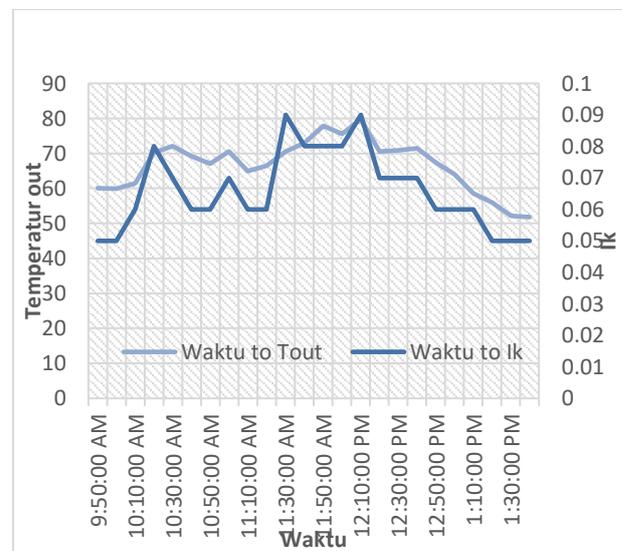
Gambar 3. Grafik hubungan antara energi yang berguna terhadap efisiensi

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa nilai efisiensi fluktuatif karena dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti temperatur udara lingkungan, keluaran kolektor dan nilai intensitas radiasi surya. Intensitas radiasi sesaat yang diterima oleh kolektor sebenarnya fluktuatif, namun karena adanya penyimpanan panas yang baik sesuai prinsip efek rumah kaca membuat pemanasan di dalam kolektor tetap optimal. Grafik di atas menggambarkan bahwa efisiensi berbanding lurus dengan besar kalor yang berguna. Hal ini disebabkan karena semakin besar kalor berguna yang didapat maka semakin kecil panas yang hilang dari kolektor yang menyebabkan semakin besarnya efisiensi kolektor. Perhitungan efisiensi kolektor surya hal yang harus diperhatikan adalah kehilangan panas pada bagian atas kolektor, pada bagian bawah kolektor dan pada bagian samping kolektor.

Penggunaan isolator *styrofoam* dan *glass wool* mampu membantu dalam mempertahankan temperatur, dan mengurangi rugi-rugi akibat terjadinya perpindahan secara konduksi pada kolektor. Pengujian pertama dengan kondisi cuaca cerah didapatkan berdasarkan termodinamika nilai tertinggi Q_u yaitu sebesar 67,24 Watthour dengan efisiensi tertinggi yaitu 75.12%, sedangkan jika ditinjau dari perpindahan panas sebesar 58,62 Watthour dengan efisiensi 76,15%, nilai efisiensi ini lebih baik dari pada efisiensi yang dihasilkan pada kolektor menggunakan reaktor yakni 61% (Himangshu Bhowmik and Ruhulamin 2017).

Pengujian kedua kondisi cuaca mendung tetapi kolektor masih bisa menghasilkan temperatur yang tinggi yang menunjukkan bahwa kolektor masih dapat menyerap panas dengan baik, didapatkan nilai Q_u berdasarkan termodinamika yaitu sebesar 48.88 Watthour dengan efisiensi

tertinggi yaitu 72.81%, sedangkan jika ditinjau dari perpindahan panas sebesar 34.46 Watthour dengan efisiensi 80,53%, hal ini menunjukkan bahwa pada kedua pengujian panas yang hilang dari kolektor kecil sehingga mendapatkan efisiensi dan Q_u yang besar.



Gambar 4. Grafik hubungan I_k terhadap T output dan waktu

Gambar 4 menunjukkan nilai intensitas radiasi kumulatif pada saat pengujian yang dilakukan pada 19 Agustus 2019 dari pukul 09.30 sampai 14.00 WIB. Intensitas radiasi kumulatif (I_k) ini diukur menggunakan *pyranometer* yang diambil setiap 10 menit sekali. Nilai I_k dipengaruhi oleh keadaan cuaca seperti keberadaan awan, pengaruh angin dan kelembapan udara. Pada pukul 09.30 WIB nilai I_k didapatkan sebesar 0.07 kWh/m^2 yang terbilang cukup kecil karena cuaca memang belum panas, tetapi intensitas radiasi kumulatif ini cenderung menaik dan memiliki nilai puncak tertinggi pada pukul 11.30 WIB yaitu sebesar 0.1 kWh/m^2 . dan terjadi kembali penurunan sampai pukul 14.00 WIB yaitu sebesar 0.07 kWh/m^2 yang nantinya akan menurun sampai matahari terbenam.

Nilai intensitas radiasi kumulatif ini memengaruhi nilai temperature keluaran dari kolektor, grafik pada Gambar 4 di atas menunjukkan bahwa nilai I_k berbanding lurus dengan nilai temperatur output pada kolektor. Nilai T_{out} mengalami peningkatan karena sesuai dengan waktu pemanasan yang semakin lama. Pemanasan dalam kolektor ini terus meningkat karena adanya akumulasi dari intensitas radiasi yang diterima.

IV. KESIMPULAN

Penggunaan dua kaca penutup lebih baik dibandingkan dengan satu kaca penutup antar kaca. Nilai temperatur yang dihasilkan terbesar menggunakan dua kaca penutup adalah 77,9°C, sedangkan dengan satu kaca penutup sebesar adalah 76 °C. Efisiensi terbesar berdasarkan termodinamika yang didapatkan 75,12 %, sedangkan jika ditinjau dari perpindahan panas sebesar 76,15%.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini dibiayai oleh DIPA POLBAN dalam rangka pengembangan kemandirian penelitian dosen di lingkungan Jurusan Teknik Konversi Energi dan peningkatan kemampuan mahasiswa dalam memahami penerapan ilmu perpindahan panas dan termodinamika dalam sistem kolektor surya.

DATAR PUSTAKA

- Ahmed Kadhim Hussein, Dong Lib, Lioua Kolsic, Sanatana Katad, Brundaban Sahooe. (2017). "A Review of Nano Fluid Role to Improve the Performance of the Heat pipe Solar Collectors." *Energy Procedia* 109: 417 – 424.
- American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers, Inc. ASHRAE 93-2010. (RA 2014) "Methods of Testing to Determine the Thermal Performance of Solar Collectors." *ASHRAE*: Atlanta, GA, USA.
- Brownson, J. R. S. (2014). *Solar energy conversion systems*. Oxford: Academic Press.
- Himangshu Bhowmik and Ruhulamin. (2017). "Efficiency Improvement Of Flat Plate Solar Collector Using Reflector." *Energy Reports* 3:119-123.
- Yousefi, T., Veysi, F., Shojaeizadeh, E., Zinadini, S. (2012). "An Experimental Investigation on the Effect of Al₂O₃-H₂O Nanofluid on the Efficiency of Flat-Plate Solar Collectors." *Renew. Energy* 39 (2012): 293–298.