

ANALISIS PERPINDAHAN PANAS PADA KOLEKTOR PLAT DATAR SEBAGAI SUMBER ENERGI TERMAL PADA PENGERING TIPE RAK

Budiman Sudia¹, Lukas Kano Mangalla², Samhuddin³, Wa Ode Zulkaidah⁴

Program Studi Teknik Mesin UHO^{1,2,3}

Program Studi Teknik Elektor UHO⁴

budimansudia@rocketmail.com

ABSTRAK

Kolektor surya merupakan alat yang mengkonversi energi radiasi matahari menjadi energi termal yang selanjutnya digunakan untuk berbagai keperluan. Kajian ini bertujuan untuk menganalisis perpindahan panas pada kolektor plat datar yang digunakan sebagai sumber energi termal pada proses pengeringan alat pengering tipe rak. Pengambilan data dilakukan di Kombu, Kota Kendari dengan sudut lintang 4° LS, pada bulan Mei 2018. Intensitas radiasi global diukur menggunakan alat Solar Powermeter. Temperatur kolektor diambil dengan menggunakan Termokopel CA tipe CC (*Cooper Constanta*), kecepatan angin menggunakan anemometer, temperatur lingkungan diukur menggunakan termometer air raksa. Hasil analisis menunjukkan bahwa peningkatan nilai panas berguna kolektor berbanding lurus dengan efisiensi kolektor. Panas berguna maksimum = 175,7 W (aktual) dan 231,97 W (teoritis) dan efisiensi maksimum 63,95 % (aktual) dan 77,2 % (teoritis).

Kata Kunci : Kolektor Plat Datar, Energi Berguna, Efisiensi Kolektor

ABSTRACT

Analysis Of Heat Transfer In Flat Plate Collector As Thermal Energy Source In Rak Type Dryer. Solar collectors are devices that convert solar radiation energy into thermal energy which is used for various purposes. This study is used to determine the heat in the flat plate collector as a source of thermal energy. Data collection was carried out at Kambu, Kendari City with a latitude of 4° LS, in May 2018. The intensity of solar radiation measured using solar power meter : collector temperature measured using a thermocouple type CC (*Cooper Constanta*), wind speed measured using anemometer, the ambient temperature uses a mercury air thermometer. The Results show that the maximum useful energy was 100,09 W ($Q_{u,act}$) and 182,01 W ($Q_{u,teo}$) ; maximum efficiency was 36,54 (η_{act}) and 77,2 % (η_{teo}).

Keywords: Flat Plate Collector, Useful Energy Gain, Collector Efficiency

1. PENDAHULUAN

Kolektor surya merupakan peralatan yang digunakan untuk mengubah energi radiasi matahari menjadi energi termal yang selanjutnya dapat digunakan untuk berbagai keperluan. Salah satu tipe yang banyak digunakan adalah tipe kolektor surya plat datar. Penggunaan kolektor surya plat datar banyak dilakukan karena konstruksinya sederhana serta mudah diaplikasikan. Salah satu aplikasi kolektor plat datar adalah pada alat pengering tipe rak dimana udara panas yang terkumpul di kolektor akan dialirkan ke ruang pengering melalui mekanisme konveksi paksa.

Kajian ini bertujuan untuk menganalisis perpindahan panas pada kolektor plat datar yang digunakan

sebagai sumber energi termal pada alat pengering pisang tipe rak. Beberapa kajian tentang kolektor plat surya plat datar yang pernah dilakukan:

(Ramadhan, Soeparman, & Widodo, 2017) menganalisis proses perpindahan panas kolektor surya plat datar pada proses pemanas air yang menggunakan *turbulence enhancer* yang menyimpulkan bahwa panas berguna dapat ditingkatkan dengan modifikasi kolektor (menggunakan *turbulence enhancer*) yang dapat memperlambat aliran fluida sehingga fluida dapat menyerap panas yang lebih efektif.

(Cozzini, et al., 2015) menganalisis performansi kolektor plat datar dalam proses pemanasan (penukar kalor) yang berkesimpulan bahwa performa penukar kalor sangat dipengaruhi oleh intensitas radiasi matahari yang tidak konstan. (Rianda, Nurrohman, & Al-Kindi, 2017) menganalisis kinerja kolektor surya plat datar dengan fluida kerja etanol 96 % pada sistem water heater yang menyimpulkan bahwa temperatur maksimum kolektor dicapai pada kondisi debit aliran 2 lpm dan kemiringan bidang kolektor 0°.

(ER, 2016) mengevaluasi parameter-parameter umum yang mempengaruhi performansi kolektor surya plat datar yang digunakan pada pemanas air dengan menganalisis perpindahan panas pada plat penyerap (absorber) yang menyimpulkan bahwa efisiensi kolektor kolektor yang meningkat akan meningkatkan kuantitas air panas yang dihasilkan. (Yarshi & Paul, 2015) menganalisis perpindahan panas pada kolektor plat datar menggunakan software ANSYS CFD FLUENT dengan bervariasi bentuk dan material pipa kolektor.

(Chamoli, 2013) menganalisis performansi kolektor surya plat datar menggunakan analisis eksergi, dengan menggunakan program Matlab Simulink untuk melihat pengaruh geometri dan parameter – parameter termodinamika terhadap performansi kolektor.

Proses Perpindahan Panas pada Kolektor Plat Datar

Keseimbangan energi pada kolektor plat datar dihitung menggunakan persamaan berikut (Duffie & Beckman, 1991) :

$$I_g A = Q_u + Q_L \dots (1)$$

Dimana:

I_g = intensitas radiasi total matahari yang masuk kolektor

A = Luas permukaan absorber

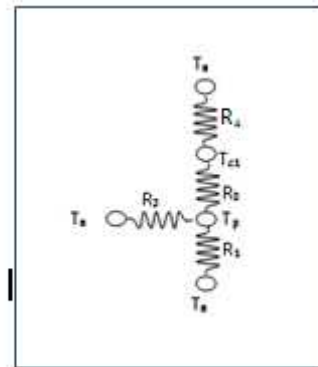
Q_u = Panas berguna kolektor

Q_L = Panas yang hilang dari kolektor

Panas berguna kolektor dapat dihitung dari persamaan berikut (Duffie & Beckman, 1991):

$$Q_u = \dot{m} c_p (T_o - T_{ii}) \dots (2)$$

Kerugian panas (Q_L) pada kolektor datar dapat dievaluasi melalui persamaan 3 (Duffie & Beckman, 1991) :



Gambar 1. Jaringan termal kolektor surya plat datar

$$Q_L = U (T_p - T_a) \dots (3)$$

Dimana:

U = Koefisien kerugian menyeluruh

= $U_t + U_b + U_s$

A = luas permukaan absorber

T_p = Temperatur plat

T_a = temperatur lingkungan

U_t , U_b dan U_s berturut – turut adalah koefisien kerugian pada bagian atas, bawah dan sisi kolektor. Koefisien kerugian bawah kolektor dihitung dari rumus berikut (Duffie & Beckman, 1991) :

$$U_b = \frac{1}{R_1} = \frac{k_b}{L_b} \dots (4)$$

Dimana:

L_b : tebal isolasi bagian bawah

k_b : konduktivitas termal bahan isolator bagian bawah

Koefisien Kerugian Sisi dihitung dari persamaan berikut ini (Himran, 2005) :

$$U_s = \frac{1}{R_2} = \frac{L_3(L_1 + L_2)k_s}{L_1 L_2 L_s} \dots (5)$$

L_1 , L_2 dan L_3 berturut – turut adalah panjang, lebar dan tinggi kolektor dan L_s adalah tebal isolator bagian sisi kolektor. Koefisien kerugian atas dipengaruhi oleh konveksi dan radiasi dari plat absorber ke kaca penutup serta dari kaca penutup ke lingkungan.

Koefisien kerugian atas kolektor dievaluasi dengan persamaan berikut (Duffie & Beckman, 1991) dan (Himran, 2005):

$$\frac{Q_T}{A} = h_{p-c}(T_F - T_C) + \left\{ \frac{\alpha(T_F^4 - T_C^4)}{\frac{1}{\epsilon_p} + \frac{1}{\epsilon_c} - 1} \right\}$$

$$= h_w(T_C - T_a) + \epsilon_c(T_C^4 - T_{s_i}^4) \dots (6)$$

h_{p-c} = koefisien perpindahan panas konveksi antara plat dan penutup kolektor

ϵ_p = emisivitas plat

ϵ_c = emisivitas kaca penutup

h_w = koefisien perpindahan panas konveksi pada kaca penutup

T_{sky} = temperatur langit
 $= T_a - 6 \text{ K}$

Tahanan termal (R_3) dihitung dari persamaan berikut (Duffie & Beckman, 1991) dan (Himran, 2005) :

$$R_3 = \frac{1}{h_{p-c} + h_{r,p-c}} \dots (7)$$

Tahanan termal (R_4) berupa konveksi dan radiasi dari kaca penutup ke lingkungan (Duffie & Beckman, 1991) dan (Himran, 2005) :

$$R_4 = \frac{1}{h_w + h_{r,c-s}} \dots (8)$$

Konveksi dari permukaan kaca penutup ke lingkungan (h_w) dipengaruhi oleh kecepatan angin (V_w) dihitung dari korelasi non dimensi (j) yang disarankan oleh Sparrow et.al (Himran, 2005) :

$$j = 0.86 R_L^{-0.5} \dots (9)$$

$$R_L = \frac{V_w L^*}{\nu} ; L^* = \frac{4A_c}{C_c}$$

Dimana :

L^* = Panjang karakteristik penutup

A_c = Luas permukaan kaca penutup

C_c = Keliling penutup atas

$$h_w = \frac{j V_w \epsilon_p}{P^{2/3}} \dots (10)$$

Laju perpindahan panas radiasi dari kaca penutup ke lingkungan dihitung dari rumus berikut (Duffie & Beckman, 1991):

$$q_{r,c-s} = \epsilon_c \sigma (T_c^4 - T_{s_i}^4) \dots (11)$$

Setelah menghitung seluruh komponen kerugian kalor kolektor, panas berguna kolektor dan efisiensi kolektor dapat ditentukan.

2. METODE

Tempat dan Waktu Penelitian

Pengambilan data dilakukan di Kelurahan Kambu Kota Kendari (Latitud = 4⁰LS) pada bulan April 2018.

Peralatan yang digunakan pada saat pengambilan data sebagai berikut:

1. Pengereng tipe rak
2. Termokopel CA tipe CC (Cooper Constanta)
3. Solar Powermeter
4. Anemometer
5. Thermo-Hygrometer
6. Kolektor Plat Datar

Luas Kolektor = 0.448 m²

Luas Pipa-pipa Kolektor = 0.002 m²

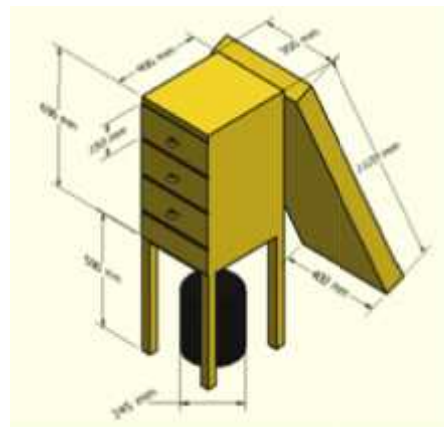
Fluida Kerja = Udara

Isolator dari bahan : Gabus

Tebal Isolator = 5 cm.

Prosedur pengujian:

Kolektor plat datar dihadapkan ke arah Utara (terpasang pasif) dengan kemiringan (45⁰), udara panas dari kolektor dialirkan ke ruang pengereng menggunakan kipas (fan),temperatur lingkungan, kecepatan angin, intensitas radiasi, temperatur udara masuk kolektor dan temperatur udara masuk ruang pengereng, temperatur plat penyerap, temperatur permukaan kaca penutup diukur dengan selang waktu 30 menit.



Gambar 2. Pengereng pisang tipe rak yang digunakan dalam pengujian

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Data Kolektor:
 Luas permukaan absorber = 0.448 m²
 Luas penampang pipa kolektor = 0.002 m²
 Kemiringan kolektor (= 60⁰)
 Latitud Kota Kendari = 4⁰ LS
 Data Hasil Pengukuran Temperatur Kolektor disajikan pada tabel 1.

Tabel 1. Data Pengukuran temperatur kolektor

Jam	Radia si Total [W/ m ²]	Kec. Angin (m/s)	Temperatur (°C)				
			T _{amb}	T _{sur}	T _{ex}	T _{exs}	T _{amb}
9,00	473	2,1	29	43	45	38	29
9,30	482	1,6	30	44	65	39	30
10,00	512	1,8	31	46	68	40	31
10,30	569	1,5	34	49	71	43	32
11,00	637	1,6	36	51	75	46	34
11,30	665	1,2	38	55	75	49	35
12,00	782	3,4	41	60	72	52	37
12,30	678	1,5	42	61	74	50	36
13,00	682	2,4	45	63	76	49	35
13,30	658	3,1	47	65	74	46	34
14,00	620	3,4	50	68	70	42	31
14,30	562	3,5	53	70	71	41	31
15,00	536	3,4	54	71	68	38	30
15,30	496	3,5	57	73	69	37	30

Prinsip kerja kolektor plat datar pada penelitian ini adalah sebagai berikut : Radiasi matahari yang masuk ke kolektor akan diserap absorber yang akan memanaskan fluida kerja (udara) dan selanjutnya udara panas akan dialirkan ke ruang pengering menggunakan blower. Kalor yang masuk ke kolektor disajikan pada gambar 3.



Gambar 3. Kalor yang masuk ke kolektor.

Dari gambar 3 diatas terlihat bahwa kalor yang masuk ke kolektor sangat dipengaruhi oleh Intensitas radiasi matahari. Kalor yang masuk ke kolektor akan mencapai nilai maksimum pada pukul 12.00 (Wita) saat intensitas matahari berada pada kondisi maksimum dan selanjutnya akan mengalami penurunan. Kalor yang masuk ke kolektor juga dipengaruhi oleh faktor-faktor lain seperti orientasi kolektor terhadap arah / sudut datang matahari.

Perbandingan Panas Berguna Teoritis dan Aktual ditunjukkan oleh gambar 4.



Gambar 4. Panas berguna kolektor

Dari grafik pada gambar 4 menunjukkan bahwa panas berguna kolektor akan mengalami kenaikan seiring dengan peningkatan intensitas radiasi global. Hal ini disebabkan karena peningkatan intensitas radiasi total akan meningkatkan kuantitas panas yang diserap absorber yang selanjutnya panas yang akan diserap fluida kerja juga akan mengalami peningkatan. Baik pada perhitungan teoritis yang dilakukan dengan mengestimasi kehilangan panas dari kolektor maupun perhitungan panas berguna aktual yang dilakukan dengan mengukur laju aliran massa fluida kerja ke ruang pengering menunjukkan bahwa Panas berguna maksimum terjadi pada kondisi intensitas radiasi maksimum.

Dari grafik di atas terlihat bahwa ada perbedaan nilai antara panas berguna teoritis dan aktual yang diduga disebabkan faktor laju aliran udara dari kolektor ke ruang pengering yang dalam pembahasan ini diasumsi konstan. Perbedaan ini juga dapat disebabkan tingkat keakuratan data temperatur baik di plat penyerap, kaca penutup maupun temperatur udara yang masuk dan keluar kolektor. Panas yang hilang dari kolektor disajikan pada gambar 5.



Gambar 5. Kalor yang hilang dari kolektor

Dari gambar 5 di atas terlihat bahwa kalor yang hilang dari absorber (kolektor) menunjukkan nilai yang variasinya tidak terlalu besar perubahannya. Kalor yang hilang dari kolektor dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain, jenis isolator yang digunakan, kecepatan angin disekitar kolektor serta perubahan temperatur plat absorber.

Efisiensi kolektor disajikan pada gambar 6.



Gambar 6. Efisiensi Kolektor

Efisiensi kolektor surya plat datar menunjukkan kemampuan kolektor plat datar untuk mengubah energi radiasi yang masuk ke kolektor menjadi panas berguna yang akan diserap oleh fluida kerja. Efisiensi kolektor aktual maksimum = 63,9 % dan efisiensi kolektor teoritis = 77,2 %, sedangkan efisiensi kolektor aktual minimum = 49,7 % dan efisiensi kolektor teoritis minimum = 40,9 %.

Efisiensi kolektor surya plat datar sangat dipengaruhi desain kolektor. Efisiensi kolektor plat datar umumnya rendah disebabkan oleh kehilangan kalor ke lingkungan yang cukup tinggi, baik secara

konduksi maupun konveksi dan radiasi balik dari plat penyerap ke lingkungan sekitar. Peningkatan kecepatan angin di sekitar kolektor akan meningkatkan kerugian panas secara konveksi ke lingkungan dan pada akhirnya akan menurunkan efisiensi kolektor. Posisi plat penyerap yang hanya tertutup oleh kaca juga menyebabkan kehilangan panas secara radiasi dari plat penyerap ke lingkungan yang besar yang juga akan menurunkan efisiensi kolektor.

4. KESIMPULAN

Pada kolektor plat datar dengan permukaan absorber yang besar dan konstruksi relatif sederhana menyebabkan efisiensi kolektor yang relatif rendah. Posisi absorber yang menghadap ke atas untuk menerima radiasi matahari tanpa bahan isolator menyebabkan laju perpindahan panas ke lingkungan besar baik itu secara radiasi maupun secara konveksi. Peningkatan nilai panas berguna kolektor berbanding lurus dengan efisiensi kolektor. Panas berguna maksimum = 175,7 W (aktual) dan 231,97 W (teoritis); dan efisiensi maksimum 63,95 % (aktual) dan 77,2 % (teoritis).

DAFTAR PUSTAKA

- Aono, H., Yamano, Y., Naohara, T., Itagaki, Y., Maehara, T., & Hirazawa, H. (2016). Heat Generation Properties in AC Magnet Field For Composite Powder Material of The Y3Fe5)12-nSiC System Prepared by Reverse Coprecipitation Method. *Journal of Advanced Ceramics*, 262-268.
- Arikundo, F. R., & Hazwi, M. (2014). Rancang Bangun Prototipe Kolektor Surya Tipe Plat Datar Untuk Penghasil Panas pada Pengereng Produk Pertanian dan Perkebunan. *Jurnal e-Dinamis*, Vol.8 No.4, 194-203.
- Bakari, R. (2018). Heat Transfer Optimatization in Air Flat Plate Solar Collectors Integrated with Baffles. *Journal of Power and Energy Engineering*, 70-84.
- Callister, W. D. (2001). *Fundamentals of Materials Science and Engineering*. New York: John Willey & Sons, Inc.
- Chamoli, S. (2013). Exergy Analysis of Flat Plate Solar Collector. *Journal of Energy in Southem Africa Vol.24 No. 3*, 8-13.

- Chapelle, D., & Bathe, K. J. (2011). *The Finite Element Analysis of Shells-Fundamentals*. Berlin: Springer.
- Cozzini, M., Pipiciello, M., Fedrizzi, R., Hassine, I. B., Pietruschka, D., & Soll, R. (2015). Performance Analysis of a Flat Plate Solar Field for Process Heat. *SHC 2015, International Conference on Solar Heating and Cooling for Buildings and Industry* (pp. 000-000). Energy Procedia.
- Duffie, J. A., & Beckman, W. A. (1991). *Solar Engineering of Thermal Processes, Second Edition*. New York: John Wiley and Sons, Inc.
- ER, Z. (2016). Prevailing Parameter Evaluation With Heat Transfer Analysis. *Special Issue of the 3rd International Conference on Computational and Experimental Science* (pp. 1025-1029). ACTA PHYSICA POLINICA A.
- Himran, S. (2005). *Energi Surya*. Makassar: CV. Bintang Lampatue.
- Imran, A. I. (2002). *Analisa Pengaruh Perubahan Temperatur Air Panas Masuk Terhadap Efisiensi Plate Heat Exchanger Tipe WL.2*. Kendari: Skripsi. Jurusan Teknik Mesin.
- Naphon, P., & Wongwises, S. (2004). A Study of Heat Transfer Characteristics of A Compact Spiral Coil Heat Exchanger Under Wet-Surface Conditions. *Experimental Thermal and Fluid Science*, 511-521.
- Pavelka, P., Hunady, R., & Hagara, M. (2016). The Influence of Preload on Modal Parameters of A Cantilever Beam. *American Journal of Mechanical Engineering*, 418-422.
- Penyusun, T. (2018, Mei Jumat). *Neraca Energi Indonesia 2013-2017*. Retrieved from Badan Pusat Statistik: <https://www.bps.go.id/>
- Pitts, D. R., & Sissom, L. E. (1998). *Schaum's Outline of Theory and Problems Heat Transfer, Second Edition*. New York: McGraw-Hill. Companies Inc.
- Ramadhan, N., Soeparman, S., & Widodo, A. (2017). Analisis Perpindahan Panas pada Kolektor Pemanas Air Tenaga Surya dengan Turbulence Enhancer. *Jurnal Rekayasa Mesin Vol.8 No.1*, 15-22.
- Resmana, I., Aryadi, A., Wijaya, H., Akbar, J., Gaos, S. Y., Marzuki, E., & Juarsa, M. (2012). Perpindahan Kalor Dibagian Dingin Berdasarkan Variasi Warna Lapisan Film Pada Panel Sistem Solar Thermal. *Seminar Nasional-IX Rekayasa dan Aplikasi Teknik Mesin di Industri* (pp. 31-37). Bandung: Institut Teknologi Nasional.
- Rianda, Nurrohman, & Al-Kindi, H. (2017). Analisis Termal Kolektor Surya Tipe Plat Datar dengan Fluida Kerja Etanol 96% pada Sistem Solar Water Heater. *Jurnal Teknik Mesin (JTM): Vol.06 No.4*, 244-251.
- Siswantara, A. I., Darmawan, S., & Budiarmo. (2012). Komparasi Karakteristik Model Turbulen Pada Aliran Blower Pada Turbin Gas Mikro Bioenergi Proto X-2. *Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin XI (SNTTM XI) & Thermofluid IV* (pp. 628-633). Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada.
- Yarshi, K. A., & Paul, B. (2015). Analysis of Heat Transfer Performance of Flat Plate Solar Collector Using CFD. *International Journal of Science, Engineering and Technology Research (IJSETR) Vol.4 Issue 10*, 3576-3580.