

Peningkatan Efisiensi Absorpsi Radiasi Matahari pada Solar Water Heater dengan Pelapisan Warna Hitam

NK. Caturwati^{1)*}, Yuswardi Y.²⁾, Nino S.³⁾

^{1, 2, 3)} Jurusan Teknik Mesin Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Jl. Jendral Sudirman km.3 Cilegon 42435
Email: n4wati@yahoo.co.id

Abstrak

Negara Indonesia merupakan negara yang mendapatkan pancaran sinar matahari sepanjang tahun karena letak geografisnya yang berada di sekitar garis khatulistiwa. Pemanfaatan energi sinar matahari sebagai sumber energi terbarukan perlu digalakkan dalam rangka menghemat penggunaan sumber energi fosil yang semakin menipis ketersediaannya. Paper ini menyajikan pemanfaatan energi sinar matahari sebagai pemanas air (*Solar Water Heater*). Metode penelitian dilakukan berdasarkan eksperimen dengan membandingkan kinerja *solar water heater* dengan pipa *collector* dari tembaga dan *solar water heater* dengan pipa *collector* tembaga yang diberi pelapis cat berwarna hitam. Penelitian dilakukan di daerah Cilegon sepanjang hari dari jam 08.00 hingga 17.00 dengan periode pengambilan data satu jam selama 10 hari. Dari data temperatur air masuk dan keluar *collector* serta memperhatikan kondisi lingkungan tempat pengujian dilakukan kajian dan perhitungan untuk menentukan nilai efisiensi absorpsi energi. Secara teoritis penyerapan energi radiasi oleh benda hitam berlangsung secara sempurna. Sedangkan dari hasil penelitian pemberian lapisan warna hitam pada pipa *collector* meningkatkan nilai efisiensi absorpsi energi hingga 31 nilai efisiensi absorpsi pada pipa *collector* tembaga tanpa pelapis warna.

Kata kunci: energi, *solar water heater*, efisiensi, absorpsi

Abstract

Indonesia is a country which is get sun exposure throughout the year due to geographically located around the equator. Utilization of solar energy as a source of renewable energy should be encouraged in order to conserve the use of fossil energy sources dwindling availability. This paper presents the use of sun energy as water heater (*Solar Water Heater*). The experimental method is studies comparing the performance of solar water heater with genuine copper pipe collector and copper pipe which was coated a black paint. The study was conducted in Cilegon area for all day from 08:00 am until 05:00 pm with a one hour sampling period for 10 days. From data collector inlet-outlet water temperature and environmentally condition in which testing is done, furthermore was calculated the energy absorption efficiency by solar water heater. Theoretically, the absorption of energy radiation by a black body is the best. Results of the study is the pipe collector with black paint coating had higher energy absorption efficiency up to 31 times than the copper pipe collector with no coating.

Keywords: energy, solar water heater, efficiency, absorption

1. PENDAHULUAN

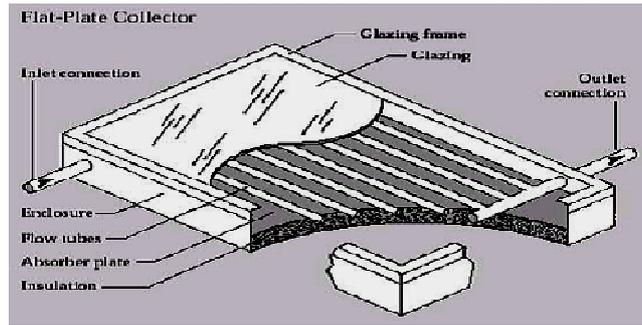
1.1 Latar belakang

Kemajuan teknologi yang menyertai perkembangan peradaban manusia mengakibatkan peningkatan penggunaan energi dalam memenuhi kebutuhan manusia dewasa ini. Bahan bakar fosil merupakan sumber energi utama yang dipergunakan sampai saat ini. Adanya keterbatasan cadangan energi fosil mengakibatkan krisis energi mulai melanda dunia. Berbagai upaya dalam mencari sumber energi alternative dilakukan disertai berbagai kampanye pemanfaatan energi terbarukan. Matahari merupakan salah satu energi alternative yang sangat layak dimanfaatkan terutama di daerah sekitar khatulistiwa seperti Indonesia, mengingat daerah ini memperoleh pancaran energi matahari sepanjang tahun.

Disisi lain tuntutan manusia akan kenyamanan hidup terutama dalam upaya menjaga kesehatan semakin berkembang. Salah satu kebutuhan yang dirasa semakin perlu untuk dipenuhi adalah ketersediaan akan air panas baik untuk relaksasi dengan berendam di air panas, mandi dengan air panas maupun mencuci peralatan medis maupun peralatan lainnya. Bahkan dalam sertifikasi suatu hotel maupun instansi tertentu lainnya penyediaan air panas menjadi suatu kewajiban. Selain itu dalam tingkatan rumah tangga, penyedia air panas untuk mandi sudah menjadi sesuatu yang sangat wajar, sehingga peralatan pemanas air dewasa ini semakin banyak digunakan.

Mengingat hal tersebut diatas pengembangan *solar water heater* (SWH) sebagai penyedia air panas dengan energi matahari menjadi penting untuk dikampanyekan penggunaannya. Disamping itu pengkajian teknologi dalam upaya pengembangan system SWH juga sangat penting untuk dilakukan. Dalam paper ini dilakukan penelitian pengaruh warna hitam pada pipa absorber dalam rangka meningkatkan efisiensi penyerapan panas pada suatu SWH dengan jenis *Flat Plate Collector* seperti diperlihatkan pada Gambar 1.

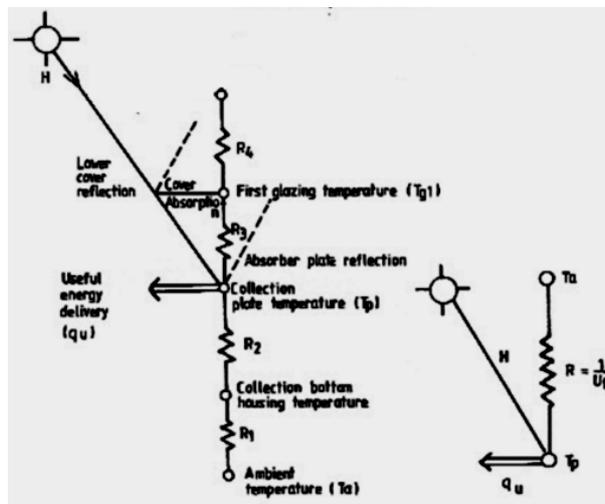
* Penulis korespondensi, Telp. 0254-395502
Email: n4wati@yahoo.co.id



Gambar 1. SWH tipe Flat Plate Colector

1.2 Tinjauan Pustaka

Proses penerimaan energi panas pada suatu kolektor SWH dapat diperlihatkan seperti pada Gambar 2 dimana energi panas matahari masuk melalui kaca penutup kolektor, selanjutnya energi panas ini sebagian diserap oleh air yang melalui pipa absorber dan sebagian lainnya keluar kembali ke lingkungan sebagai rugi-rugi panas (q_{loss}).



Gambar 2. Skema penyerapan energi panas pada collector SWH

Besarnya kalor radiasi yang diserap melalui pipa tembaga kolektor dapat dinyatakan dalam persamaan (1) sebagai berikut :

$$Q_{abs} = I_r \cdot \tau \alpha \cdot A_c \quad (1)$$

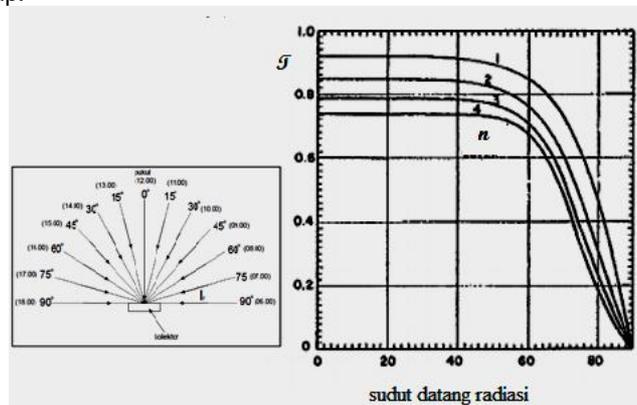
Dimana :

I_r = Intensitas radiasi matahari (W/m^2)

α = absorpsivitas pipa tembaga yang besarnya 0.35 [Duffie]

τ = transmisivitas kaca penutup kolektor.

Penentuan nilai τ tergantung pada nilai sudut datang yang ditentukan berdasarkan waktu, misal jam 12 memiliki sudut datang 0° . Dan jumlah kaca penutup. Gambar 3 menunjukkan penentuan sudut datang dan nilai transmisivitas kaca penutup.



Gambar 3. Transmisivitas kaca penutup terhadap sudut datang radiasi [Duffie]

Panas yang keluar dari pelat kolektor menuju kaca penutup dapat terjadi melalui mekanisme konveksi dan radiasi yang dapat dinyatakan dengan persamaan (3) :

$$q_{l,t} = h_{p-c}(T_p - T_c) + \frac{\sigma(T_p^4 - T_c^4)}{\frac{1}{\varepsilon_p} + \frac{1}{\varepsilon_c} - 1} \quad (3)$$

Dimana :

- h_{p-c} = koefisien konveksi pelat kolektor dan kaca penutup (W/m².K)
- T_p = Temperatur pipa kolektor (K)
- T_c = temperatur kaca penutup (K)
- ε = emisivitas (p pipa kolektor, c kaca penutup)
- σ = konstanta Boltzman

Koefisien konveksi antara pelat kolektor dan kaca penutup dinyatakan dalam persamaan (4) sebagai :

$$h_{p-c} = 1 - 0,0018(\bar{T} - 10) \frac{1,14\Delta T^{0,310}}{L^{0,07}} \quad (4)$$

Dimana :

- \bar{T} = Temperatur rata-rata pipa kolektor dan kaca penutup.
- ΔT = beda temperatur pipa kolektor dan kaca penutup.
- L = jarak antara pipa kolektor dan kaca penutup

Perpindahan panas antara kaca penutup kolektor dengan lingkungan dapat terjadi melalui mekanisme radiasi dan konveksi dengan nilai koefisien perpindahan panas sebagai berikut [Duffie]:

- Koefisien perpindahan panas secara radiasi dari kaca penutup ke lingkungan dapat dinyatakan dalam persamaan (5):

$$h_{r,c-\infty} = \varepsilon_c \frac{\sigma(T_c + T_s)(T_c^2 + T_s^2)(T_c - T_s)}{T_c - T_\infty} \quad (5)$$

- Sedangkan koefisien konveksi permukaan kaca terhadap lingkungan menurut wammuf et.all [Duffie] dapat dinyatakan dalam persamaan (6) :

$$h_{wind} = 2,8 + 3,0.v \quad (6)$$

Dimana : v = kecepatan angin (m/s)

h_{wind} = koefisien konveksi (W/m².K)

Temperatur lingkungan selain ditentukan oleh temperature yang berasal dari angkasa/langit yang dikenal sebagai sky temperature, juga dapat disebabkan oleh factor lain seperti efek refleksi maupun radiasi dari sumber lainnya. Secara umum besarnya temperature langit dapat diperkirakan berdasarkan persamaan temperature langit [Duffie] dengan menggunakan persamaan (7) :

$$T_s = 0.0552 x T_-^{1.5} \quad (7)$$

Dimana :

- T_s = temperature Langit
- T_- = temperature lingkungan

Rugi-rugi panas yang keluar dari kolektor ke lingkungan dinyatakan sebagai :

$$Q_{loss} = U_t(T_p - T_\infty).A_t + U_e(T_p - T_\infty).A_e + U_b(T_b - T_\infty).A_b \quad (8)$$

Sehingga kalor berguna yang diserap air dalam SWH dinyatakan sebagai :

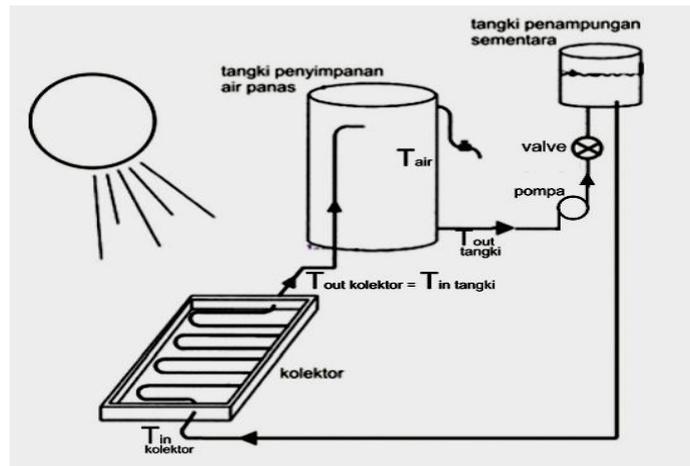
$$Q_u = Q_{abs} - Q_{loss} \quad (9)$$

Efisiensi absorpsi energi radiasi pada SWH dinyatakan sebagai :

$$\epsilon = \frac{Q_u}{I_r.A_t} \quad (10)$$

2. METODE

Penelitian dilakukan secara eksperimen dengan skema pengujian seperti tampak pada Gambar 4. Pengujian dilakukan untuk pipa kolektor tembaga tanpa lapisan cat dan dengan lapisan cat warna hitam. Masing-masing pengujian dilakukan pengambilan data dari jam 08.00 hingga 16.00 dengan jeda waktu pencatatan 1 jam selama masing-masing 5 hari.



Gambar 4. Sketsa pengujian

Kolektor

Penangkap energi radiasi sinar matahari diperlihatkan seperti Gambar 4, yang terdiri dari beberapa bagian utama antara lain :

1. Penutup transparan yang bersifat meneruskan/mentransmisikan sinar radiasi yang diterima, mengurangi kerugian panas konveksi serta melindungi pipa-pipa kolektor. Untuk itu diperlukan material dengan transmisivitas tinggi, absorpsivitas dan refleksi yang rendah serta tahan terhadap temperature tinggi. Material kaca dipergunakan sebagai penutup transparan karena memiliki koefisien transmisi yang cukup tinggi sebesar 0,8 [Duffie]
2. Pipa Kolektor : berfungsi sebagai media pemindah panas dari panas radiasi yang diterima ke media air sebagai penyerap energi panas. Penggunaan material tembaga sebagai pipa kolektor cukup bagus mengingat tembaga memiliki koefisien konduktivitas panas sebesar 401 W/m.K dengan emisivitas 0,03 [Incropera]
3. Sirip Kolektor yang membantu menyerap radiasi sinar matahari dan menghantarkannya ke pipa kolektor, sehingga diperlukan material yang memiliki sifat konduktivitas dan absorpsivitas tinggi serta tahan terhadap temperature tinggi. Dalam penelitian digunakan pelat galvanis.
4. Rumah Kolektor yang berfungsi sebagai dudukan semua komponen solar kolektor. Dalam raancangan ini digunakan bahan kayu karena cukup kuat dengan nilai konduktivitas panas yang rendah sekitar 0.19 W/m.K sehingga kebocoran kalor melalui rumah kolektor cukup rendah.
5. Isolator merupakan bahan yang digunakan untuk mengurangi kebocoran kalor. Dalam rancangan kolektor ini dipergunakan bahan Styrofoam sebagai bahan dudukan pipa kolektor dengan nilai konduktivitas panas rendah.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil Penelitian

Data pengujian dengan absorber pipa tembaga tanpa cat dilakukan pada 24 – 29 Januari 2011 dengan contoh data yang diambil pada tanggal 24 Januari 2011 seperti terlihat pada Tabel 1 dengan kecepatan aliran air rata-rata: 2.12 m/s

Tabel 1. Pengamatan 24 januari 2011 (pipa tembaga)

waktu	Air (°C)		T_{∞}	T_{abs}	T_{base}	T_{kaca}	V_{angin}
	T_{in}	T_{Out}	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(m/s)
08.00	29.2	30.5	27.7	33.4	31.1	29.4	1
09.00	31.2	32.3	27.7	34.2	32.3	28.7	1
10.00	30.7	33.8	29.1	44.6	39.8	33.8	0.7
11.00	34	36.6	29.8	43.1	37.3	33.9	0.6
12.00	36.3	40.7	32	46.2	40.5	37.1	1
13.00	37.9	38.7	33.4	45.1	38.9	36.8	0.6
14.00	39.9	42.4	31.9	45.6	39.7	38.4	0.5
15.00	41.7	45.5	36.6	50.4	41.8	38.8	0.8
16.00	42.9	43.9	34.6	48.2	40.6	36.4	0.7
17.00	42.4	42.4	33.2	41.7	38.2	33.6	0.4

Sedangkan data pengujian dengan absorber pipa tembaga yang dicat hitam dilakukan pada 7-11 februari dengan contoh data yang diambil pada tanggal 7 Februari 2011 seperti terlihat pada Tabel 2 dengan kecepatan aliran air rata-rata: 2.12 m/s

Tabel 2. Pengamatan 7 Februari 2011 (pipa tembaga di cat hitam)

waktu	Air (°C)		T_{∞} (°C)	T_{abs} (°C)	T_{base} (°C)	T_{kaca} (°C)	V_{angin} (m/s)
	T_{in}	T_{out}					
08.00	32.1	33.6	30.3	36.6	33.2	32	1.2
09.00	33.4	35.7	31.2	40.4	35.6	33.7	2.3
10.00	36.3	40.9	33.3	47	39.4	38.4	1.4
11.00	38.2	47	32.5	52.8	44.1	37.2	1.8
12.00	42	46.1	32.5	50.1	41.6	36.8	1.9
13.00	44.7	49.2	33.2	50.7	44	36.5	3.5
14.00	45.2	48.1	32.1	48.3	43.2	36.7	2.4
15.00	46.7	47.4	32	47.7	41.6	35.3	1.8
16.00	45.6	46.8	30	46.9	39	33.1	1.9
17.00	43.7	44.1	29.8	43.7	36.5	32.2	1

Intensitas Radiasi

Intensitas radiasi matahari diperoleh dari data laporan BMKG kota Serang dan sekitarnya sehingga dari data pengukuran tanggal 24 Januari 2011 dapat dinyatakan temperature langit dan Intensitas radiasi seperti pada Tabel 3 berikut.

Tabel 3. Temperatur langit dan intensitas radiasi matahari tanggal 24 Januari 2011

waktu	T_{∞} (°C)	T_{sky} (°C)	I_r W/m ²
08.00	27.7	8.05	110.7
09.00	27.7	8.05	278.8
10.00	29.1	8.66	472.9
11.00	29.8	9	691.5
12.00	32	10	913.1
13.00	33.4	10.6	870.9
14.00	31.9	9.95	1010.1
15.00	36.6	12.2	874.5
16.00	34.6	11.23	577.4
17.00	33.2	10.56	332.5

3.2 Analisis

Dari data-data pengujian serta perhitungan yang dilakukan untuk menentukan efisiensi penyerapan energi radiasi matahari yang diterima seperti pada persamaan (1-10) maka diperoleh nilai efisiensi untuk solar collector dengan pipa tembaga tanpa cat sebagai pipa absorber dinyatakan pada Tabel 4. Sedangkan Tabel 5 menyatakan hasil pengujian efisiensi SWH dengan pipa absorber tembaga dengan lapisan cat berwarna hitam.

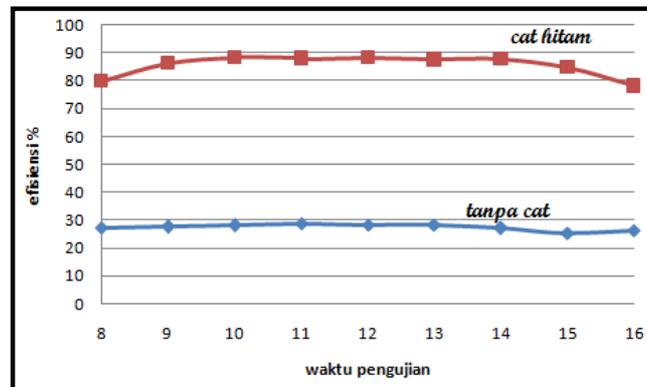
Tabel 4. Efisiensi absorpsi energi sinar matahari SWH dengan collector pipa tembaga

waktu	24/01/11	26/01/11	27/01/11	28/01/11	29/01/11	rata-rata
08.00	24	29	27	28	28	27.2
09.00	27	29	26	27	29	27.6
10.00	27	28	27	29	29	28
11.00	30	31	27	26	30	28.8
12.00	30	29	30	23	30	28.4
13.00	31	29	29	23	30	28.4
14.00	30	29	30	18	28	27
15.00	29	27	26	16	28	25.2
16.00	28	28	28	21	26	26.2

Tabel 5. Efisiensi absorpsi energi sinar matahari SWH dengan collector pipa tembaga dengan cat hitam

waktu	7/2/2011	8/2/2011	9/2/2011	10/2/2011	11/2/2011	rata-rata
08.00	79	80	80	80	81	80
09.00	85	87	86	87	87	86.4
10.00	87	89	89	88	89	88.4
11.00	88	88	88	88	88	88
12.00	88	88	88	88	89	88.2
13.00	88	88	88	88	86	87.6
14.00	87	88	88	88	88	87.8
15.00	80	86	86	85	87	84.8
16.00	70	83	79	79	80	78.2

Sehingga dari 10 hari pengujian tersebut dapat dibandingkan nilai efisiensi penyerapan radiasi sinar matahari pada pipa absorber SWH antara pipa tembaga tanpa cat dan dengan cat hitam seperti terlihat pada Gambar 5. Sehingga diperoleh hasil pengujian rata-rata efisiensi absorpsi sinar radiasi pipa tembaga dengan cat hitam 3,11 kali lipat efisiensi penyerapan sinar radiasi pipa tembaga tanpa cat hitam.



Gambar 5. Efisiensi absorpsi radiasi pada SWH

4. SIMPULAN

Melalui pengujian unjuk kerja pemanas air surya (SWH) antara kolektor dengan pipa tembaga sebagai absorber dan tambahan lapisan cat hitam pada pipa tembaga, menghasilkan kesimpulan bahwa terjadi peningkatan efisiensi serap panas sebesar 3,11 kali lipat pada pipa tembaga berlapis cat hitam dibandingkan pipa tembaga tanpa cat. Nilai efisiensi penyerapan panas absorber pipa tembaga dengan lapisan cat hitam mencapai 82,54 % sedangkan absorber pipa tembaga tanpa cat menghasilkan nilai efisiensi penyerapan sinar sebesar 26,4 %.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Campbell, Stu., *Build your own solar water heater*, Garden Way Associates Inc., © 1978.
- [2] Cengel Y. A, *Heat Transfer*, Second edition, Mc Graw Hill Company.
- [3] F. P. Incropera dan D. P. DeWitt, *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*, 4th Edition, John Wiley & Sons, New York, 1996.
- [4] J. A. Duffie, W. A. Beckman, *Solar Engineering Of Thermal Processes*, Third edition, copyright©2006 by John Wiley & Sons, Inc.
- [5] J. P. Holman, *Heat Transfer Text Book*, Sixth Edition, Mc Graw Hill Company, 1986.