

KAJIAN EKSPERIMENTAL SISTEM PEMANAS DAN PENYIMPAN AIR BERTENAGA SURYA

M. Syahri dan S. Wahyuni S.R.^{*)}

Abstrak

Pemanas air bertenaga sinar matahari telah banyak dipasarkan dengan harga yang relatif mahal. Kemahalan tersebut dipengaruhi oleh mahalnya harga material (besi) dan pembuatannya (pabrikasi) yang cukup sulit. Dilakukan inovasi yang bertujuan untuk mereduksi biaya dengan menggunakan bahan yang lebih murah tetapi daya serap terhadap panas matahari lebih baik. Bahan yang dipilih fiberglass reinforced polyester (GFRP). Sistem pemanas air bertenaga surya yang dirancang tidak berpenutup kaca dan kolektor surya diintegrasikan dengan sistem penyimpanan air. Penelitian dilakukan dengan dua cara, tanpa dan dengan pengurusan tangki air. Pendataan dilakukan saat matahari terbit hingga tenggelam, selama tujuh hari masa perlakuan. Hasil menunjukkan cara tanpa pengurusan lebih dapat menahan penurunan suhu air dalam tangki penampung. Untuk mengurangi penurunan suhu selama penyimpanan dilakukan modifikasi dengan memasang katup penghalang pada sistem. Suhu air maksimum dalam tangki penampung air terlihat sangat dipengaruhi fluks sinar matahari yang diterima kolektor. Pada cuaca cerah dengan fluks sinar matahari rerata 700 W/m^2 suhu air mencapai 63°C . Pada cuaca mendung dengan fluks rerata 450 W/m^2 suhu air maksimum 42°C . Suhu air panas dalam tangki penyimpan selama penelitian dilakukan berkisar antara $60 - 63^\circ\text{C}$. Hasil tersebut menunjukkan bahwa GFRP dapat digunakan sebagai bahan pembuatan kolektor surya. Uji kelayakan kinerja sistem masih perlu dilakukan sebagai kelanjutan dari penelitian ini.

Kata kunci: fiberglass reinforced polyester (GFRP), sistem terintegrasi, katup, uji kelayakan

Pendahuluan

Penelitian tentang sistem pemanas air bertenaga sinar matahari (tenaga surya), dikenal sebagai sistem kolektor surya, telah banyak dilakukan. Sebagian besar sistem kolektor surya dilengkapi dengan satu atau sejumlah kaca penutup [Ahmad dkk, 1995; Duffie dkk, 1991; Faiman dkk, 2001; Kaptan dkk, 1996]. Sistem pemanas konvensional demikian telah banyak dipasarkan, tetapi harganya masih relatif mahal karena biaya investasinya mahal. Bahan utama pembuatan kolektor surya konvensional antara lain tembaga, aluminium dan besi. Penggunaan bahan-bahan tersebut mempunyai beberapa kelemahan, selain mahal, bahan (material) berat, sukar dipabrikasi (dibentuk) dan kebanyakan logam rentan terhadap karat. Oleh karenanya dilakukan inovasi **penggunaan bahan bukan logam** sebagai komponen kolektor surya. Inovasi demikian dimaksudkan untuk mereduksi biaya pembuatan. Bahan bukan logam yang digunakan harganya harus lebih murah tetapi daya serap terhadap energi matahari harus dapat dibandingkan dengan bahan logam. Tujuan utama dilakukan inovasi adalah memperoleh sistem kolektor surya yang dapat menyerap tenaga matahari secara maksimal tetapi biaya yang ditimbulkan minimal (murah). Sehingga jika dipasarkan harga jualnya diharapkan dapat dijangkau oleh segala lapisan konsumen.

Bahan (material) yang dianggap mempunyai karakteristik demikian adalah bahan campuran

berbasis matrik polimer (poliester dan epoksida), diantaranya adalah campuran poliester dan serat (FRP) (Mohamad, 1997). Bahan campuran demikian sudah banyak digunakan, biasanya diperkuat dengan Kaca-E (GFRP), Aramid (AFRP) atau diperkuat Karbon (CFRP). Data perbandingan karakteristik material campuran tersebut diatas dengan besi sebagai material kolektor surya dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Karakteristik Material Kolektor Surya

Sifat-sifat	GFRP	AFRP	CFRP	Besi
Nisbah isi penguat	0,55	0,6	0,63	-
Densitas (g/cm^3)	2,1	1,38	1,58	7,85
Kekuatan tegangan (MPa)	1080	1280	2280	1860
Kekuatan geser (MPa)	89	49	71	341

Material campuran GFRP yang difungsikan sebagai bahan kolektor surya tanpa penutup kaca dengan tangki penyimpanan air yang digabung dengan kolektor suryanya, dinyatakan dapat memanaskan dan menahan suhu air sampai suhu sekitar 70°C (Mohsen, 2000). Pernyataan tersebut yang dijadikan dasar bagi penelitian ini.

^{*)} Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknologi Industri UPN "Veteran" Yogyakarta
 Jl. SWK 104 Condong Catur Yogyakarta
 Email : Yuni.rhd@lycos.com

Material campuran GFRP bukan merupakan jenis logam sehingga dapat tahan terhadap serangan korosi, mudah dibentuk dan tahan untuk suhu air sampai 100°C. Beberapa karakteristik material campuran GFRP yang menguntungkan sebagai bahan kolektor surya antara lain:

1. Berwarna hitam sehingga dapat meningkatkan sifat konduksi bahan/kolektor.
2. Struktur bahan berlapis-lapis dan diantaranya merupakan bahan busa poliuretan, sehingga bahan tersebut bersifat kuat, ringan dan merupakan insulasi panas yang baik (Njomo, 2000).
3. Bahan mudah dibentuk sehingga pemasangannya juga akan lebih mudah dan dapat lebih ergonomik.

Sistem kolektor surya tanpa penutup kaca sangat sensitif terhadap kecepatan angin yang berada atau berhembus di permukaan kolektor. Sebagai ilustrasi, kehilangan panas dari kolektor ke sekeliling saat percobaan di cuaca cerah sekitar 150 W/m² dan saat cuaca mendung sekitar 20 W/m² pada kecepatan angin rata-rata 1-4 m/det (Soltau, 1992).

Berdasarkan beberapa ulasan tersebut di atas dapat disimpulkan sementara bahwa campuran GFRP dapat digunakan sebagai kolektor surya dan sebagai bahan konstruksi sistem pemanas air bertenaga surya, sampai suhu air di bawah 100°C.

Metode operasi pengaliran dipilih aliran termosiphon yaitu pengaliran air dari tangki penyimpan ke kolektor surya tanpa bantuan pompa. Pemilihan tersebut diharapkan dapat mengurangi biaya operasi sistem.

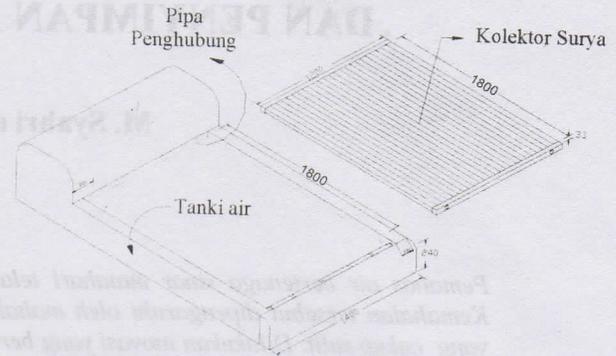
Unjuk kerja sistem diprediksi dari efisiensi sistem, yaitu nisbah jumlah tenaga panas yang terserap oleh air terhadap jumlah tenaga panas sinar matahari yang diterima oleh permukaan kolektor dengan rumusan sebagai berikut:

$$\eta_B = \frac{mC_{p,m}(T_o - T_i)}{A_c \int_0^t S dt} \quad (1)$$

Metoda Penelitian

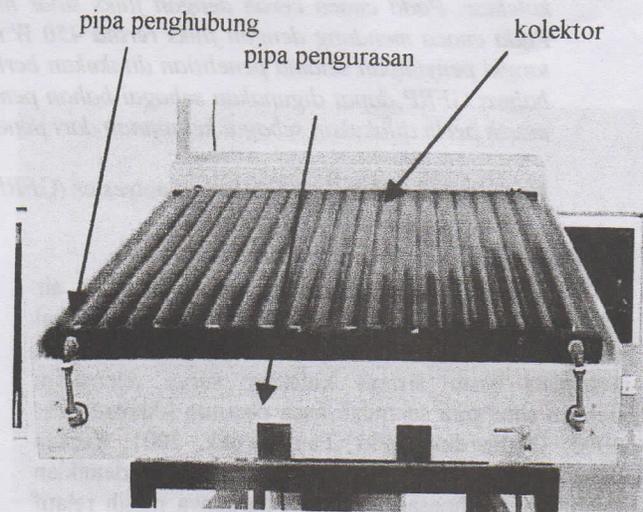
Sistem didisain sebagai gabungan antara kolektor surya dan tangki penampung air, berbentuk separuh elips dengan tangki penampung air terletak di bagian bawah kolektor. Kedua unit dibuat dari material campuran GFRP.

Pemasangan kolektor ke dalam sistem tidak memakai perekat. Secara skematis rangkaian tersebut sebagai dalam Gambar 1.



Gambar 1. Skematis Sistem

Kolektor terdiri dari 19 buah saluran berbentuk setengah elips yang mempunyai peyerapan 0,95. Foto sistem terlihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Foto Sistem

Kolektor mempunyai panjang 1400 mm, lebar 1800 mm dan tebal 3 mm. Tebal lapisan dinding tangki penyimpan air 50 mm. Tangki dapat menampung air dengan volum total 329 liter. Disain sistem ditunjukkan pada Gambar 3.

Kolektor dihubungkan ke tangki penyimpan air melalui dua buah pipa yaitu pipa pemasukan dan pipa pengeluaran. Kemiringan sistem terhadap bidang horizontal 15°, mengarah ke arah sinar matahari dengan fluks maksimal agar penyerapan panas matahari dapat optimal. Pipa pemasukan air *make up* dengan diameter 12,5 mm, diletakkan dibagian atas tangki penyimpan. Pengeluaran/pengurasan air dari tangki penyimpan dilakukan melalui pipa berdiameter sama dengan pipa pemasukkan dan terletak diujung bawah tangki penyimpan. Spesifikasi sistem dirangkum dalam Tabel 2.



Gambar 3. Disain Sistem

Tabel 2. Spesifikasi Sistem

	Sifat Fisik	Nilai
Kolektor	Konduktifitas Panas	0,316 W m ⁻¹ K ⁻¹
	Koef. Pindah Panas Total [Bagian Atas Permukaan]	12 Wm ⁻² K ⁻¹
	Koef. Pindah Panas Total [Bagian Samping]	4 Wm ⁻² K ⁻¹
	Luas Area Aliran	0,064 m ²
	Jarak Antara Pipa	0,02 m
	Faktor Penyerapan	0,9
	Konduktifitas Plat	0,034 Wm ⁻¹ K ⁻¹
	Tebal Plat	0,002 m
	Luas Area	1,3 m ²
	Sudut Kemiringan	15 °
	Beda suhu Air Keluar Dan Masuk Kolektor	20 °C
Tangki Penyimpan	Berat Air Dalam Tangki	329 kg
	Kedalaman Saluran	0,13 m
	Koef. Pindah Panas Total Tangki	1,5 Wm ⁻² K ⁻¹

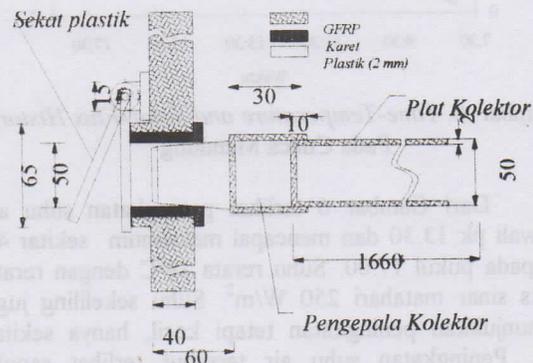
Prediksi awal kinerja sistem dilakukan melalui dua cara, yaitu:

1. Tangki penampung diisi air satu hari sebelum pelaksanaan penelitian. Pengisian dilakukan malam hari. Setelah penelitian (pengamatan), dilakukan pengurasan, kemudian dilakukan pengisian lagi dengan cara yang sama. Hal tersebut dilakukan selama 6 hari masa penelitian.
2. Metoda pengisian yang dilakukan sama tetapi tidak dilakukan pengurasan selama 6 hari masa penelitian.

Data suhu air masuk dan keluar kolektor, suhu sekeliling, intensitas sinar matahari serta kecepatan angin, secara serentak disimpan dalam komputer (PC) yang dilengkapi alat-alat pengendali parameter yang dicermati. Pengambilan data dilakukan dari pagi hingga sore hari.

Modifikasi sistem dilakukan pada cara perlakuan kedua, yaitu dengan menambahkan alat pengendali terhadap aliran balik [reverse flow]. Alat pengendali, berupa sekat plastik dengan panjang 50 mm, lebar 65 mm dan tebal 2 mm. Sekat dapat bergerak bebas dan diletakkan dibagian ujung saluran

keluar kolektor. Modifikasi tersebut dirancang berdasarkan fenomena terjadinya penurunan suhu air dalam tangki penyimpan saat matahari terbenam. Skema sistem dengan modifikasi pengendali aliran balik ditunjukkan dalam Gambar 4.

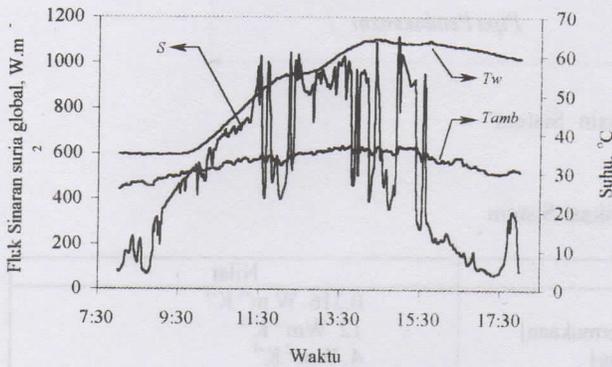


Gambar 4. Skema Modifikasi Sistem Tanpa Pengurasan

Hasil Percobaan

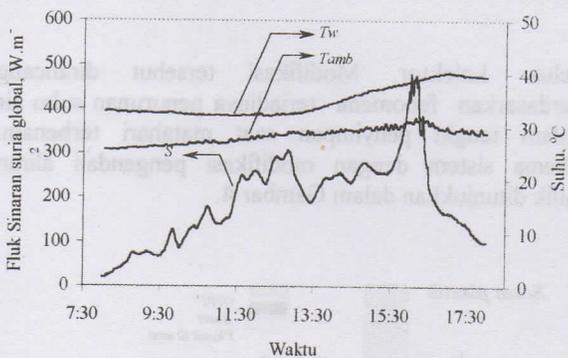
1. Metoda Pengurasan (Pembuangan) Tangki Penyimpan

Karakteristik suhu air dalam tangki penyimpan menggunakan cara pengisian dan pembuangan, *Time-Temperature and Solar-Flux History* sistem pada saat percobaan dalam cuaca cerah ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. *Time-Temperature and Solar-Flux History* Pada Cuaca Cerah

Pada Gambar 5 terlihat suhu keluaran meningkat dengan cepat pada pagi hari pukul 07.30 sampai tengah hari, sekitar pukul 11.30. Tetapi sesudah waktu tersebut peningkatan suhunya lambat. Suhu air optimum, 62 °C dicapai pukul 15.30. Suhu rerata 56 °C dengan fluks rerata 700 W/m². Gambaran *Time-Temperature and Solar-Flux History* saat percobaan pada cuaca mendung ditunjukkan pada Gambar 6.



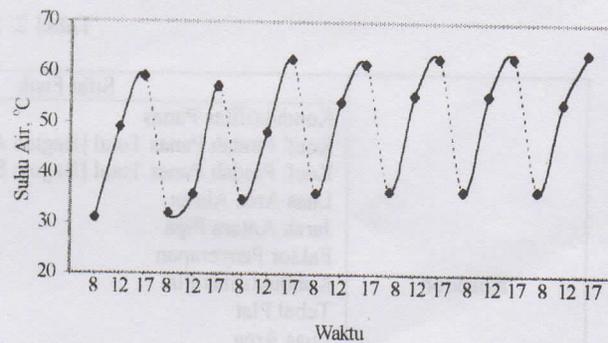
Gambar 6. *Time-Temperature and Solar-Flux History* Pada Cuaca Mendung

Dari Gambar 6 terlihat peningkatan suhu air diawali pk 13.30 dan mencapai maksimum sekitar 40 °C pada pukul 17.00. Suhu rerata 38°C dengan rerata fluks sinar matahari 250 W/m². Suhu sekeliling juga menunjukkan peningkatan tetapi kecil, hanya sekitar 5°C. Peningkatan suhu air tersebut terlihat sangat dipengaruhi oleh peningkatan fluks sinar matahari yang mencapai 489 W/m² pada pukul 16.00. Suhu sekeliling selama pengamatan hampir tetap sekitar 30°C.

Dari kedua data tersebut terlihat bahwa suhu air keluar kolektor sangat ditentukan oleh fluks sinar matahari yang diterima oleh permukaan kolektor.

2. Metoda Tanpa Pengurasan

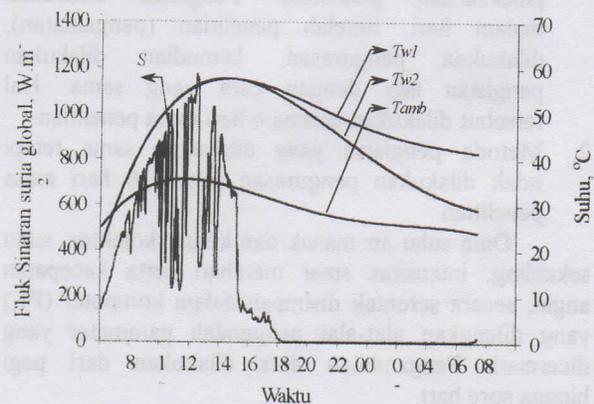
Percobaan dilakukan terus menerus selama 7 hari tanpa pembuangan air dalam tangki penampung. Karakteristik suhu air dalam tangki penyimpan tanpa pengurasan air ditunjukkan pada Gambar 7. Dari Gambar terlihat bahwa suhu air maksimum yang dapat dicapai selama 7 hari perlakuan hampir tetap, mencapai 65°C. Terjadi peningkatan dibanding cara ke 1



Gambar 7. Karakteristik Suhu Air Selama Tujuh Hari Perlakuan Tanpa Pengurasan Air

Pengaruh pemasangan sekat sebagai alat pengendali aliran balik terhadap penurunan suhu air dapat dilihat pada Gambar 8.

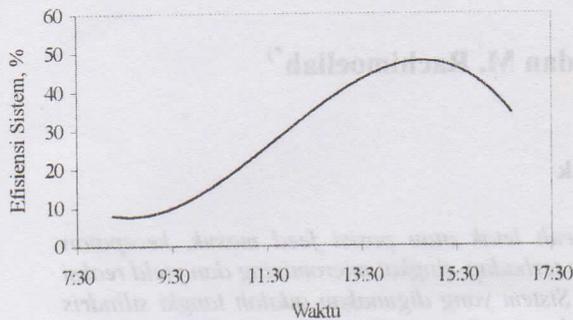
Beda suhu awal dan suhu akhir pencermatan selama percobaan tidak banyak berbeda. Karakteristik suhu air dalam tangki penyimpan tanpa alat pengendali [Tw₂], selama pengamatan sehari semalam menunjukkan penurunan cukup tajam, sampai sekitar 29 °C pada hari berikutnya.



Gambar 8. *Time-Temperature and Solar-Flux History* Pada Modifikasi Sistem Tanpa Pengurasan

Pada sistem bermodifikasi alat pengendali, penurunan suhu yang terjadi tidak terlalu tajam dan dapat bertahan hingga suhu 42°C [Tw₁]. Percobaan ini

hanya dilakukan selama 1 hari. Jika pengamatan selama 7 hari secara sinambung, suhu air dalam tangki bermodifikasi mungkin dapat lebih tinggi. Efisiensi sistem satu hari percobaan ditunjukkan pada Gambar 9 di bawah ini.



Gambar 9. Hubungan Efisiensi Sistem Dengan Waktu

Terlihat bahwa efisiensi maksimum sistem dicapai pukul 14.30 sebesar 48 % dan menunjukkan penurunan setelah waktu tersebut. Hal ini dikarenakan adanya penurunan intensitas sinar matahari setelah pukul 14.30, disamping adanya pengaruh laju angin. Laju angin cenderung meningkat pada sore hari. Hal tersebut akan mengakibatkan terjadinya peningkatan jumlah panas yang terbawa oleh aliran angin sehingga suhu dalam tangki menurun.

Penutup

Hasil penelitian yang diperoleh:

1. Hasil pengamatan pada perlakuan tanpa pengurusan saat cuaca cerah, air tertampung dalam tangki mencapai suhu maksimum 63 °C dengan fluks rerata sinar matahari 700 W/m². Pada cuaca mendung, suhu air maksimum 40°C dengan fluks rerata sinar matahari 489 W/m². Terlihat semakin tinggi fluks sinar matahari yang diterima kolektor akan semakin tinggi suhu air dalam tangki penampung. Efisiensi alat mencapai 48 %.
2. Modifikasi pemasangan katup penghalang dapat menghalangi penurunan suhu dalam tangki penampung selama penyimpanan sehari semalam. Penurunan suhu yang terjadi jika tanpa modifikasi mencapai 29 °C, tetapi dengan modifikasi suhu dalam tangki dapat tertahan sampai sekitar 42 °C pada hari berikutnya.

Bahan yang digunakan dalam penelitian, baik kolektor surya dan tangki penampung hampir seluruhnya dari GFRP. Dengan kedua hasil sebagai yang disebutkan di atas dapat disimpulkan sementara bahwa GFRP layak digunakan sebagai bahan pembuatan pemanas air bertenaga surya. Tetapi untuk menuju kesempurnaan masih diperlukan studi yang berkelanjutan, baik secara teknis maupun ekonomis. Perlu dilakukan perbandingan dengan sistem konvensional yang sudah ada.

Daftar Simbol

A_c	Luas area kolektor, m ²
C_p	Kapasitas panas air, kJ kg ⁻¹ K ⁻¹
S	Fluk sinar matahari, W m ⁻²
T_w	Suhu air keluar reaktor, °C
T_{amb}	Suhu sekeliling, °C
m	Berat air di dalam tangki penyimpanan, kg
T_o	Suhu air di dalam tangki penyimpanan, K
T_i	Suhu air masuk, K

Daftar Pustaka

Ahmad, J. S., Abdullah, I. dan Othman, H., (1995), *Proc. ICAST '95*, UKM Bangi, pp. 251-255

Duffie, J. A., and Beckman, W.A., (1991), *Solar Engineering of Thermal Processes*, 2nd ed., John Wiley and Sons, New-York, pp. 358-361

Faiman D., Hazan, H., and Laufer, I., (2001), "Reducing the heat loss at night from solar water heaters of the integrated collector-storage variety", *Solar Energy*, 71(2), pp. 87-93

Kaptan, I. N and Kilic, A., (1996), "A theoretical and Experimental investigation of a novel built-in-storage solar water heater", *Solar Energy*, 57, pp. 393-400

Mohamad, A. A., (1997), "Integrated solar collector-storage tank sistem with thermal diode", *Solar Energy*, 61 (3), pp. 211-218.

Mohsen, M.S., (2000), "Experimental optimization study on compact solar water heater", *Proceeding of the World Renewable Energy Congress VI (WREC2000)*, Brighton, England, pp. 1019-1022.

Njomo, D., (2000), "Unglazed selective absorber solar air collector: Heat exchanger analysis", *J. Heat and Mass Transfer*, 36, pp. 313-317.

Soltau, H., (1992), "Testing the thermal performance of uncovered solar collectors", *Solar Energy*, 49 (4), pp. 263-272