

Inovasi Sistem Penyerahan Panas dari Kolektor Pemanas Air Tenaga Matahari Pelat Ganda (*Double Plate Solar Water Heater*)

Sudjito Soeparman, Imam Zaky, dan Mustofa

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya

Jl. Mayjen Haryono 167 Malang, 65144

Abstrak

Penelitian ini melakukan pengujian terhadap inovasi disain sistem penyerahan panas pelat ganda pada pesawat pemanas air tenaga matahari, dengan mengalirkan air diantara pelat kolektor dan pelat bawah. Tujuannya untuk meningkatkan efisiensi sistem, dengan menghilangkan kerugian sirip yang terjadi pada konstruksi pemanas air konvensional yang menggunakan pipa-pipa pemanas. Eksperimen dilakukan dengan membandingkan kinerjanya dengan kolektor konvensional, dengan menguji secara bersamaan di laboratorium untuk mengontrol pengaruh perbedaan intensitas radiasi matahari. Spesifikasi kinerja yang diuji adalah model dan grafik karakteristik kinerja kolektor, antara efisiensi kolektor terhadap data $\frac{(T_i - T_a)}{G_t}$. Pengambilan data dilakukan menggunakan datalogger, dengan

intensitas pengiriman data ke komputer setiap 3 menit, dengan variasi temperatur air masuk kolektor ditentukan $30^\circ C$, $40^\circ C$, $50^\circ C$, dan $60^\circ C$. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa kolektor pelat ganda mempunyai efisiensi lebih tinggi dibandingkan dengan kolektor konvensional. Besar efisiensi maksimum kolektor pelat ganda sekitar 45% lebih tinggi dan temperatur stagnasinya hampir sama sekitar $61^\circ C$. Namun demikian, pemilihan bahan, disain, dan fabrikasi kolektor yang digunakan untuk eksperimen perlu diperbaiki apabila akan dilakukan aplikasi lebih lanjut mengingat rendahnya efisiensi kolektor dan temperatur stagnasinya.

Kata kunci: pemanas air, matahari, kolektor, ganda.

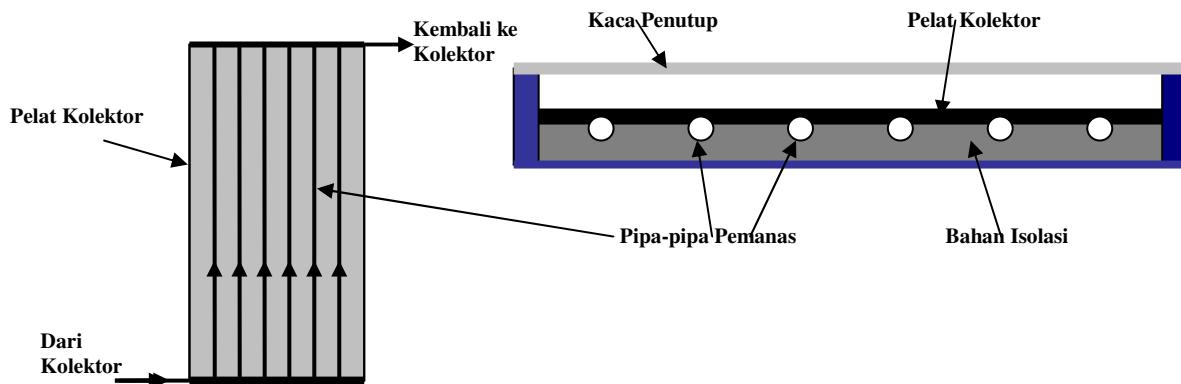
1. Pendahuluan

Pesawat pemanas air tenaga matahari merupakan salah satu peralatan dengan sumber energi radiasi matahari yang teknologinya sudah mencapai tahapan aplikasi komersial. Aplikasi yang paling banyak adalah untuk memenuhi kebutuhan air panas di rumah tangga, air industri, dan prasarana umum seperti hotel dan rumah sakit. Proses penyerahan energi panas dari kolektor ke air sebagai fluida kerja yang biasa digunakan pada pesawat pemanas air sampai sekarang menggunakan pipa-pipa pemanas yang dipasang sejajar diantara pelat kolektor. Kelemahan sistem ini adalah adanya kerugian sirip, dan luas permukaan penyerahan panas (*heat transfer*) sempit hanya dari luas permukaan dinding pipa pemanas. Selain itu ada kelemahan konstruksi panjang pipa pemanas dan sekaligus pelat kolektor harus panjang, untuk mencapai temperatur keluaran air panas sekitar $70^\circ C$. Penelitian ini melakukan pengujian terhadap inovasi disain sistem penyerahan panas dari kolektor, yaitu mengganti pipa-pipa pemanas dengan mengalirkan air diantara dua pelat (pelat ganda) yaitu pelat kolektor dan pelat bawah. Dengan demikian energi panas dari radiasi matahari yang diserap oleh kolektor langsung diserahkan kedalam air yang mengalir dibawahnya. Karena itu fungsi pelat kolektor selain sebagai penyerap radiasi matahari, semua permukaannya berfungsi sebagai luasan penyerahan panas. Kerugian sirip yang terjadi pada sistem pipa pemanas dapat dihilangkan, dan panjang kolektor menjadi lebih fleksibel dan dapat disesuaikan dengan kebutuhan ruang pemasangannya. Kebutuhan panjang aliran lintasan air dipenuhi dengan mengatur arah aliran air mendatar dan bolak balik, dengan memasang *baffle* pengarah.

Tujuan penelitian adalah memperbaiki disain pemanas air tenaga matahari konvensional untuk menghasilkan kinerja efisiensi sistem yang lebih tinggi. Berbagai keuntungan yang diharapkan dari aplikasi inovasi desain ini diantaranya, pemanfaatan yang lebih efisien dari sumber energi terbarukan radiasi matahari, penghematan sumber energi yang biasa digunakan untuk pemanas air seperti,

minyak, gas alam, dan listrik. Energi radiasi matahari selain terbarukan, juga bersih dan bebas dari limbah polusi udara yang mencemari atmosfir.

Disain pesawat pemanas air konvensional ditunjukkan pada gambar potongan melintang dalam Gambar 1. Air mengalir didalam pipa-pipa pemanas yang dipasang sejajar, dan menyerap energi panas dari pelat kolektor yang dikonversikan dari radiasi matahari. Proses perpindahan panas ini menimbulkan adanya kerugian perpindahan panas yaitu efek sirip, karena terjadinya penurunan temperatur pelat kolektor pada waktu mendekati pipa pemanas.



Gambar 1. Gambar skema dan potongan melintang pemanas air konvensional.

Karakteristik kinerja efisiensi dari pemanas air tenaga matahari konvensional tersebut, ditunjukkan pada peramaan (1) berikut (Duffie and Beckman, 1991).

$$\eta_i = F_R (\sigma\alpha)_{av} - F_R U_L \frac{(T_i - T_a)}{G_T} \quad (1)$$

dimana: η_i = efisiensi pemanas air sesaat

F_R = faktor pelepasan panas

σ = faktor absorbtivitas pelat kolektor

α = faktor transmisivitas kaca penutup

U_L = koefisien kehilangan panas total ($W/m^2 \text{ } ^\circ\text{C}$)

T_i = temperatur air masuk kolektor ($^\circ\text{C}$)

T_a = temperatur *ambient* ($^\circ\text{C}$)

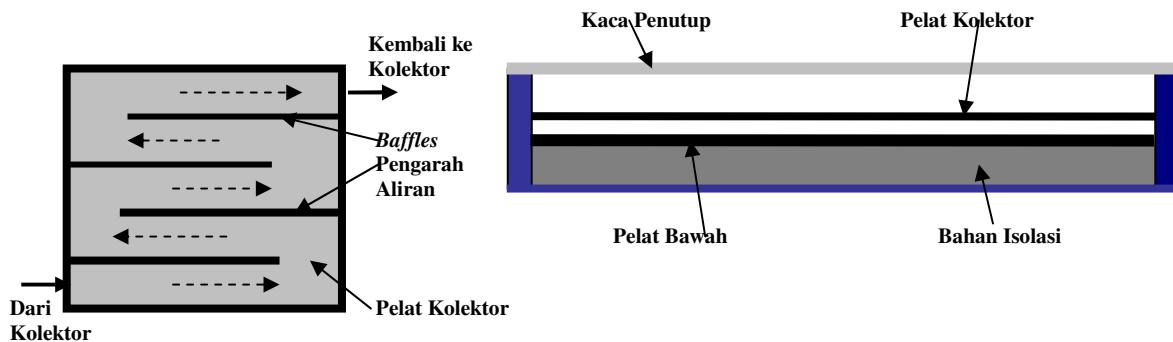
G_T = intensitas radiasi matahari (W/m^2)

Faktor pelepasan panas F_R merupakan gabungan dari faktor efisiensi kolektor (F') dan faktor karena pengaruh kapasitas aliran air (F''). Faktor F' sebagian besar dipengaruhi oleh kerugian pelepasan panas akibat efek sirip (Duffie and Beckman, 1991). Besarnya faktor pelepasan panas tergantung kepada disain dan konstruksi pemanas air dan disain yang baik mempunyai nilai F_R sekitar 0,80, sedang besar faktor F' sekitar 0,84 dan faktor F'' sekitar 0,95.

Telah banyak usaha yang dilakukan untuk memperbaiki kinerja pemanas air tenaga matahari, dalam aspek pengoperasian maupun desainnya. Dalam aspek pengoperasian misalnya, Wuestling et.al (1985) meneliti berbagai alternatif sistem kontrol dalam pengoperasian sistem pemanas air tenaga matahari. Fanney and Klein (1988) meneliti pengaruh perubahan kapasitas aliran dalam kolektor dan heat-exchanger terhadap efisiensi sistem. Astawa (2007) mengadakan perubahan disain kolektor untuk mengurangi kehilangan panas konveksi kearah atas kolektor, dengan mengurangi tekanan udara pada ruang diantara pelat kolektor dengan kaca penutup hingga dibawah tekanan atmosfir. Hasil penelitian menghasilkan peningkatan efisiensi kolektor sekitar 10% pada penurunan tekanan sampai 60 cm Hg,

dibandingkan dengan tanpa penurunan tekanan. Namun kelemahan disain ini adalah tekanan udara tidak boleh terlalu rendah, karena akan mengakibatkan kaca penutup kolektor pecah.

Inovasi disain dalam penelitian ini adalah merubah aliran air melalui pipa pemanas menjadi aliran air melalui saluran diantara pelat kolektor dengan pelat bawah, atau pemanas air tenaga matahari pelat ganda (*double plate solar water heater*) seperti ditunjukkan pada Gambar 2. Dengan adanya baffles pengarah aliran, maka air mengalir bolak-balik didalam kolektor dan menyebabkan disain dimensi kolektor menjadi lebih fleksibel dan tidak harus memanjang seperti pada kolektor konvensional.



Gambar 2. Skema dan potongan melintang pemanas air pelat ganda.

Dengan hilangnya kerugian panas akibat efek sirip yang merupakan komponen terbesar dari faktor efisiensi kolektor F' , maka komponen faktor pelepasan panas F_R tinggal faktor kapasitas aliran air F'' . Dengan demikian persamaan kinerja efisiensi pemanas air tenaga matahari pelat ganda menjadi sebagai berikut.

$$\eta_i = F''(\sigma\alpha)_{av} - F''U_L \frac{(T_i - T_a)}{G_T} \quad (2)$$

Dengan besar perbedaan nilai standar masing-masing faktor F_R , F' , dan F'' diatas, maka inovasi desain pemanas air tenaga matahari pelat ganda diprediksi dapat meningkatkan efisiensi sebesar sekitar 30% dibandingkan dengan kolektor konvensional.

2. Metodologi Penelitian.

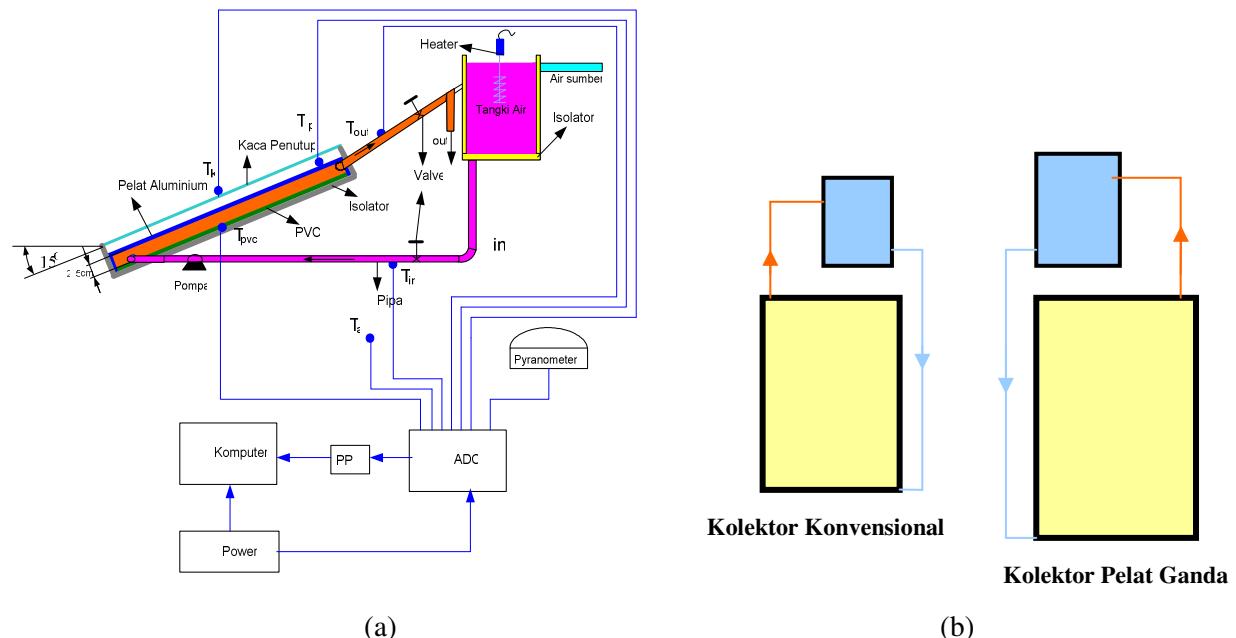
Pengujian kinerja efisiensi pemanas air pelat ganda dilakukan dengan eksperimen di laboratorium, dan membandingkan kinerjanya dengan pemanas air konvensional. Kedua jenis kolektor dipasang bersebelahan dan diuji secara bersamaan, untuk mengontrol pengaruh variasi intensitas tenaga matahari.

Kedua kolektor menggunakan pelat kolektor aluminium tebal 3 mm, dicat hitam menggunakan bahan cat *acrylic* dengan luas permukaan masing-masing $1,6 \text{ m}^2$ untuk kolektor pelat ganda dan $0,75 \text{ m}^2$ untuk kolektor konvensional. Pelat bawah pada kolektor pelat ganda menggunakan bahan PVC dengan tebal 10 mm, dan tebal lapisan isolasi *styrofoam* dibawahnya 30 mm. Pipa pemanas pada kolektor konvensional terbuat dari tembaga diameter 0,5". Kedua kolektor dipasang bersebelahan dengan sudut kemiringan 15° menghadap arah utara. Spesifikasi kinerja yang diuji adalah grafik karakteristik kinerja kolektor, antara efisiensi kolektor terhadap faktor $\frac{(T_i - T_a)}{G_T}$.

Instrumen pengukur intensitas radiasi matahari menggunakan *Eppley Precision Pyranometer*, dan pengukuran temperatur menggunakan sensor IC LM-35. Pengambilan data dilakukan menggunakan *datalogger*, dengan intensitas pengiriman data ke komputer setiap 3 menit. Variasi temperatur air

masuk kolektor ditentukan 30°C , 40°C , 50°C , dan 60°C , menggunakan pemanas listrik yang dipasang di dalam tangki tandon air. Kapasitas aliran air melalui pemanas air konvensional sebesar 0,006 liter/detik, sedang pada pemanas air pelat ganda sebesar 0,01 liter/detik. Pengambilan data diulangi 3 kali selama tiga hari pada bulan Januari 2008, antara jam 10.00 sampai jam 14.00.

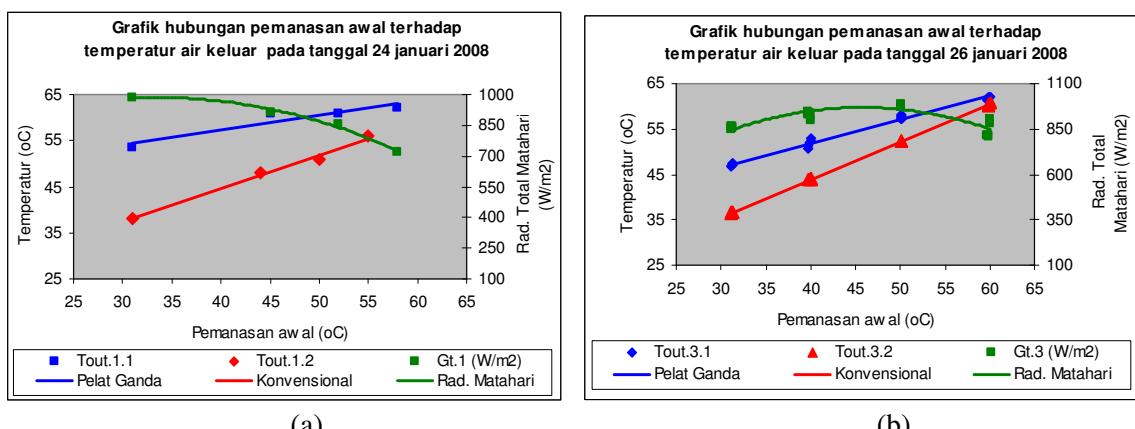
Instalasi peralatan untuk pengambilan data dan pemasangan pemanas air konvensional dan pelat ganda bersebelahan untuk pengujian kinerja pemanas air dalam penelitian ini, dapat dilihat pada Gambar 3 (a) dan (b).



Gambar 3. (a). Instalasi peralatan pengambilan data
(b). Pemanas air konvensional dan pelat ganda dipasang bersebelahan

3. Hasil dan Pembahasan.

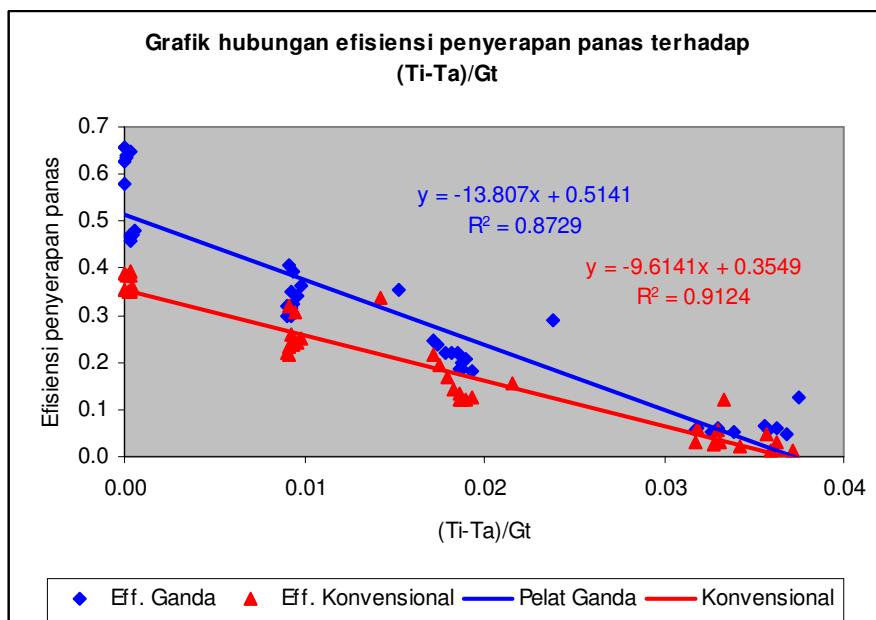
Data hasil pengamatan di laboratorium tentang pengaruh temperatur air masuk terhadap temperatur air keluar kolektor pada pemanas air konvensional dan pemanas pelat ganda, disajikan dalam bentuk grafik pada Gambar 3. Cuaca selama pengujian cukup cerah, sehingga intensitas radiasi matahari cukup tinggi berkisar antara 700 sampai 1000 Watt/m².



Gambar 3. Pengaruh temperatur air masuk terhadap temperatur air keluar kolektor, hasil pengamatan tanggal 24 Januari (a), dan tanggal 26 Januari 2008 (b),

Pengaruh besar intensitas radiasi matahari terhadap temperatur air keluar kolektor sangat nyata, yaitu pada temperatur air masuk 30°C dengan radiasi hampir 1000 Watt/m^2 temperatur air keluar mencapai 54°C pada kolektor pelat ganda; dibandingkan dengan pada intensitas radiasi matahari 850 Watt/m^2 temperatur air keluarnya hanya 47°C . Secara keseluruhan pada semua rentang temperatur air masuk dan pada intensitas radiasi matahari yang sama, kolektor pelat ganda menghasilkan temperatur air keluar lebih tinggi dibandingkan kolektor konvensional.

Kinerja efisiensi pemanas air pelat ganda dan pemanas air konvensional ditunjukkan dengan grafik efisiensi sesaat terhadap faktor $(T_i - T_a)/G_T$ pada Gambar 4. Grafik tersebut menunjukkan bahwa karakteristik kinerja efisiensi kolektor pada semua rentang operasinya, mulai temperatur air masuk terendah yaitu sama dengan temperatur udara atmosfir yang menghasilkan efisiensi kolektor tertinggi sampai temperatur air masuk tertinggi sama dengan temperatur stagnasi yang menghasilkan efisiensi sama dengan nol.



Gambar 4. Karakteristik kinerja efisiensi pemanas air tenaga matahari konvensional dan pelat ganda

Dari grafik Gambar 4 didapat persamaan karakteristik kinerja pemanas air pelat ganda berikut.

$$\eta = 0.51 - 13.80 * \frac{(T_i - T_a)}{G_T} \quad (3)$$

Sedang karakteristik kinerja pemanas air konvensional adalah.

$$\eta = 0.36 - 9.61 * \frac{(T_i - T_a)}{G_T} \quad (4)$$

Dengan demikian efisiensi maksimum kolektor pelat ganda adalah 0,51, dan efisiensi maksimum kolektor konvensional 0,36, sehingga ada peningkatan sekitar 45%. Pada pengoperasian pemanas air sekitar temperatur kerja, maka peningkatan efisiensinya lebih rendah menjadi sekitar 30%. Temperatur stagnasi kedua kolektor hampir sama, yaitu sekitar 61°C .

Besar faktor kehilangan panas $F'' \cdot U_L$ pada kolektor pelat ganda adalah 13,80. Apabila besar faktor kapasitas alirannya $F'' = 0,95$, maka koefisien perpindahan panas (*losses*) total $U_L = 14,53\text{ W/m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}$. Besar $F_R \cdot U_L$ untuk kolektor konvensional adalah 9,61 dan apabila besar faktor pelepasan panas $F_R = 0,80$, maka koefisien perpindahan panasnya: $U_L = 12,0\text{ W/m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}$.

Walaupun terjadi peningkatan efisiensi pada kolektor pelat ganda tetapi dibandingkan dengan kinerja pemanas air kualitas standar, kinerja kolektor tersebut rendah. Hal ini dapat dilihat pada rendahnya efisiensi maksimum hanya 0,51, yang semestinya diatas 0,70. Demikian pula temperatur stagnasi hanya 61°C , semestinya diatas 100°C . Rendahnya temperatur stagnasi disebabkan tingginya koefisien perpindahan panas total untuk *losses*, dimana nilai U_L paling tinggi untuk kolektor standar sekitar $9,0 \text{ W/m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}$. Tingginya nilai U_L menunjukkan besarnya panas hilang tidak terserap oleh kolektor, dan hal ini disebabkan fabrikasi kolektor kurang baik. Dengan demikian, apabila akan diaplikasikan lebih lanjut maka perlu perbaikan jenis bahan, desain, dan fabrikasi dari pesawat pemanas air yang digunakan dalam eksperimen ini.

4. Kesimpulan dan Saran

1. Karakteristik kinerja efisiensi dari pemanas air dengan inovasi disain kolektor pelat ganda lebih tinggi dibandingkan dengan pemanas air konvesional. Peningkatan efisiensi maksimum mencapai 45%, sedang peningkatan efisiensi pada temperatur kerja pemanas air diperkirakan 30%.
2. Kinerja pemanas air yang digunakan dalam eksperimen masih bisa ditingkatkan dengan memperbaiki jenis bahan, desain dan fabrikasinya.

Saran

Hasil penelitian ini sudah bisa diperkenalkan kepada industri pembuat pemanas air tenaga matahari, karena potensi perbaikan efisiensinya cukup besar dan konstruksi kolektor pelat ganda lebih sederhana dibandingkan dengan kolektor konvensional yang membutuhkan pipa-pipa pemanas yang disorder pada pelat kolektor.

Daftar Pustaka.

- Astawa, Ketut (2006), Pengaruh Tekanan Vakum pada Kolektor Terhadap Kinerja Pemanas Air Tenaga Matahari, Thesis S2 Teknik Mesin, Program Pascasarjana Universitas Brawijaya.
- Duffie, John A., and Beckman, William A., (1991), Solar Engineering of Thermal Processes, John Wiley & Sons, Inc., New York, Second Edition.
- Fanney, A.H., and Klein, S.A., 1988, Thermal Performance Comparison for Solar Hot Water Systems Subyected to Various Collector and Heat Exchanger Flow Rates, Solar Energy, Vol. 40, pp. 1-11.
- Wuestling, M., et.al., 1985, Promising Control Alternative for Solar Water Heating Systems, Journal of Solar Energy Engineering, Vol. 107, pp. 33-55.