

OPTIMALISASI UNJUK KERJA KOLEKTOR SURYA PEMANAS AIR DENGAN PELAT ABSORBER BENTUK RATA DAN BENTUK-V

¹Labusab, ²Jamaluddin, ³A.Haslinah

^{1,2}) Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Islam Makassar

³) Program Studi Teknik Industri Fakultas Teknik Universitas Islam Makassar

Email : ochalabusab@gmail.com, Jamaluddin_emba@yahoo.co.id,
andihaslina@gmail.com

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh perubahan pelat *absorber* dari bentuk ratamenjadi bentuk-V terhadap unjuk kerja kolektor surya pemanas air. Penelitian eksperimental dilakukan dengan membuat model pelat *absorber* bentuk-V yang ditentukan secara analitik berdasarkan absorptivitas dari pelat *absorber* tersebut, pelat *absorber* bentuk-V dengan $\beta=21^\circ$ (dimensi $t = 4$ cm dan $l = 4$ cm) mempunyai absorptivitas terbaik dibandingkan dengan pelat *absorber* bentuk-V lainnya. Selanjutnya, bentuk-V tersebut diaplikasikan pada alat uji kolektor surya pemanas air. Penelitian dilakukan di Laboratorium Energi Terbarukan Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin. Hasil penelitian menunjukkan bahwa efisiensi teoritis rata – rata kolektor pelat *absorber* bentuk-V lebih besar $\pm 2.60\%$ dari pada kolektor pelat *absorber* bentuk rata, dan efisiensi aktual rata – rata kolektor pelat *absorber* bentuk-V lebih besar $\pm 2.25\%$ dari pada kolektor pelat *absorber* bentuk rata. Kolektor surya pemanas air dengan pelat *absorber* bentuk-V dapat meningkatkan unjuk kerja kolektor surya pemanas air, sehingga diharapkan dapat diaplikasikan dalam konsep *green energy building* untuk menghemat biaya penggunaan energi listrik.

Kata kunci: Pemanas air matahari, Pelat absorber bentuk-V, Unjuk kerja.

PENDAHULUAN

Pemakaian bahan bakar fosil yang merupakan sumber energi yang tidak terbarukan sangat tinggi. Penggunaan energi berdampak pada masalah *Global warming* dan dampak lingkungan lainnya. Hal ini mendorong peningkatan penggunaan sumber energi terbarukan. Salah satu sumber energi terbarukan yang melimpah di Indonesia yang terletak di daerah katulistiwa adalah energi matahari.

Energi matahari sangat potensial untuk dikembangkan di Indonesia sebagai negara tropis dengan intensitas matahari yang tinggi dan energi alternatif untuk memenuhi kebutuhan seperti penyediaan sumber listrik, pemanas air, pemanas udara, dan peralatan

konversi energi matahari lainnya. Salah satu peralatan konversi energi matahari yang digunakan oleh masyarakat adalah sistem kolektor surya pemanas air untuk keperluan rumah tangga, industri dan sejenisnya. Berbagai macam kebutuhan rumah tangga menjadi semakin praktis berkat kehadiran teknologi ini. Pada awalnya pemanas air ini lebih banyak digunakan di negara-negara yang beriklim dingin. Namun, kini negara-negara tropis seperti Indonesia pun mulai marak menggunakan pemanas air. Sebagian besar konsumen pemanas air ini adalah masyarakat yang tinggal di kota-kota besar.

Choudhury *et al*(1991), “membandingkan kinerja kolektor surya dengan plat *absorber* yang berbentuk gelombang atau V dengan plat *absorber* yang datar. Hasil yang

dipaparkan adalah bahwa plat *absorber* bentuk-V memberikan efisiensi lebih tinggi dari yang datar”. Metwally *et al* (1997), “mengevaluasi unjuk kerja kolektor surya udara dengan beberapa bentuk saluran dan menemukan bahwa plat bentuk V memberikan kenaikan temperatur udara tertinggi saat udara mengalir di bawah pelat tersebut”. Karim *et al*(2004), “menemukan bahwa kolektor dengan pelat *absorber* bentuk V lebih efisien 10–15% dibandingkan pelat datar untuk single pass dan 5 – 11% untuk *double pass*”.

Modifikasi pelat berbentuk V dan susunan pipa-pipa adalah salah satu solusi peningkatan performansi kolektor surya. Pelat absorber bentuk-V dapat meningkatkan intensitas radiasi panas matahari yang dapat diserap karena luas bidang penyerapan yang lebih besar dibandingkan pelat datar (*flat-plate absorber*), serta meminimalkan kehilangan energi panas akibat pantulan keluar dari kolektor surya, (Handoyo dkk., 2010).

Secara umum tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh perubahan pelat *absorber* dari bentuk pelat ratamenjadi bentuk-V terhadap unjuk kerja (kenaikan temperatur pelat *absorber* dan air keluar, temperatur maksimum pelat *absorber* dan air keluar, serta efisiensi) kolektor surya.

METODOLOGI PENELITIAN

2.1 Tempat dan Waktu

Pengujian dan pengambilan data dilakukan pada bulan april 2016 di Laboratorium Energi Terbarukan Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Islam Makassar yang terletak pada 119⁰ 29’ 14.5” BT dan 5⁰ 7’ 59.0” LS.

2.2 Gambaran Umum Penelitian

Penelitian ini adalah penelitian Experimental laboratory dengan cakupan kegiatan antara lain studi pustaka, desain model sudut absorber, uji coba model, pembuatan, uji coba dan pengambilan data, analisa data. Secara garis besar prosedur kegiatan penelitian meliputi : alat uji, alat

ukur, penempatan alat ukur, langkah – langkah pengujian, pengambilan data dan analisa data.

Berdasarkan konduktivitas termal yang tinggi, pelat absorber yang digunakan adalah pelat absorber yang terbuat dari bahan aluminium dengan konduktivitas termal (k) sebesar 211.0 W/mK. Selain mempunyai konduktivitas termal yang tinggi, aluminium banyak dijual dipasaran dengan harga yang relatif murah (Sumarsono M, 2005).

Absorptivitas pelat absorber di analisis secara analitik untuk beberapa bentuk-V dengan sudut β = 41° (t = 4cm dan l = 2cm), β = 32° (t = 4cm dan l = 3cm), β = 21° (t = 4cm dan l = 4cm), β = 49° (t = 3cm dan l = 2cm), β = 40° (t = 3cm dan l = 3cm), dan β = 27° (t = 3cm dan l = 4cm).

Absorptivitas pelat absorber dihitung berdasarkan sudut datang radiasi matahari pada permukaan pelat. Pelat absorber diasumsi permukaan hitam. Radiasi matahari dipantulkan secara berulang-ulang pada permukaan pelat bentuk-V.

Perhitungan absorptivitas pelat absorber rata dan pelat absorber bentuk-V ditentukan berdasarkan tabel transmisivitas dan absorptivitas untuk setiap angle of incident pada lampiran tabel 1 (ASHRAE, 2011), dengan menggunakan persamaan :

$$\alpha = \frac{A_1}{A_{\text{proyeksi}}} (\alpha_1) + \frac{A_2}{A_{\text{proyeksi}}} (\alpha_2) + \frac{A_3}{A_{\text{proyeksi}}} (\alpha_3) + \dots (n) \dots \dots \dots (1)$$

Berdasarkan absorptivitas rata-rata (α_{rata-rata}), diperoleh bentuk optimal dari pelat absorber bentuk-V pada sudut β = 21° (t = 4 cm dan l = 4 cm) seperti ditunjukkan pada lampiran gambar 1. Bentuk-V ini selanjutnya diaplikasikan pada sistem kolektor surya pemanas air.

2.3 Metode Analisis

Pengambilan data dilakukan pada pukul 09:00 sampai 15:00 dalam setiap hari dengan prosedur sebagai berikut : (1) Sebelum kolektor dioperasikan, seluruh bagian kolektor dan peralatan pengukuran dalam keadaan baik. (2) Kolektor dioperasikan

sekurang-kurangnya ± 30 menit sebelum pengambilan data dilakukan. (3) Pengukuran dilakukan setiap 5 menit, antara lain : Intensitas matahari, Temperatur air masuk, Temperatur air keluar, Temperatur cover, Temperatur pelat absorber, Temperatur lingkungan, dan Kecepatan angin. Desain/Skema pengambilan data dapat dilihat pada lampiran gambar 2.

Dalam aliran steady, unjuk kerja kolektor dapat dijelaskan sebagai sebuah keseimbangan energi yang masuk menjadi energi yang berguna setelah dikurangi dengan kehilangan-kehilangan yang terjadi pada kolektor. Tahapan persamaan yang digunakan untuk menentukan efisiensi kolektor (Duffie dkk., 1974) adalah sebagai berikut:

$$Q_u = A_c \cdot F_R [S - U_L(T_i - T_a)] \quad \dots\dots (2)$$

dimana :

Q_u = Energi yang berguna pada laju perpindahan panas ke fluida kerja (W)

A_c = Luas permukaan kolektor (m^2)

F_R = Faktor pelepasan panas

S = Radiasi matahari yang diserap kolektor (W/m^2)

U_L = Koefisien kerugian total (W/m^2)

T_i = Temperatur air masuk ($^{\circ}C$)

T_a = Temperatur lingkungan ($^{\circ}C$)

Dari skema/jaringan termal seperti pada lampiran gambar 3 maka, koefisien kerugian panas sisi atas (U_t), koefisien kerugian panas sisi bawah (U_b), dan koefisien kerugian total (U_L) :

$$R_1 = \frac{1}{h_w + h_{rc-a}} \quad \dots\dots\dots (3)$$

$$R_2 = \frac{1}{h_{cp-c} + h_{rp-c}} \quad \dots\dots\dots (4)$$

$$U_t = \frac{1}{(R_1 + R_2)} \quad \dots\dots\dots (5)$$

$$U_b = \frac{1}{\left[\frac{L_p}{k_p} + \frac{L_a}{k_a} + \frac{L_{pp}}{k_{pp}} + \frac{1}{h_f} \right]} \quad \dots\dots\dots (6)$$

dimana: L_p = ketebalan kertas, m
 L_a = ketebalan aluminium foil, m
 L_{pp} = ketebalan polypropylene, m
 k_p = konduktivitas kertas, W/mK
 k_a = konduktivitas aluminium foil, W/mK

k_{pp} = konduktivitas polypropylene, W/mK

h_f = koefisien konveksi pelat ke air, W/m^2K

$$U_L = U_t + U_b \quad \dots\dots\dots (7)$$

maka;

$$F' = \frac{h_1 h_r + h_2 U_t + h_2 h_r + h_1 h_2}{(U_t + h_r + h_1)(U_b + h_r + h_2) - h_r^2} \quad \dots\dots (8)$$

$$S = 1.01 \cdot \tau \cdot \alpha \cdot I_T \quad \dots\dots\dots (9)$$

$$F'' = \frac{\dot{m} \cdot C_p}{A_c U_L F'} \left[1 - \frac{\frac{S}{U_L} - (T_{f,o} - T_a)}{\frac{S}{U_L} - (T_{f,i} - T_a)} \right] \quad \dots\dots (10)$$

$$F_R = F' \cdot F'' \quad \dots\dots\dots (11)$$

dimana :

\dot{m} = Laju aliran massa, kg/s

S = Radiasi surya per satuan luas yang diserap oleh absorber, W/m^2

A_c = Luasan absorber, m^2

$T_{f,o}$ = Temperatur fluida keluar, K

$T_{f,i}$ = Temperatur fluida masuk, K

F' = Faktor efisiensi kolektor

F'' = Collector flow factor

F_R = Faktor pelepasan panas

Unjuk kerja kolektor dipengaruhi oleh radiasi matahari yang diserap (S), koefisien kehilangan panas total (U_L), sehingga diperoleh energi bermanfaat (Q_u)

Akhirnya diperoleh efisiensi kolektor (η):

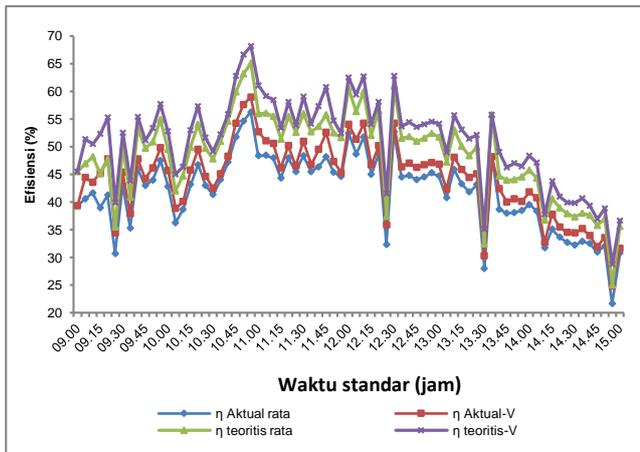
$$\eta = \frac{q_u}{A_c I_T} \quad \dots\dots\dots (12)$$

dimana :

I_T = intensitas matahari total, W/m^2

HASIL DAN PEMBAHASAN

Unjuk kerja dari kolektor surya pemanas air dengan pelat absorber bentuk-V diteliti secara eksperimen di laboratorium. Hasilnya menunjukkan bahwa unjuk kerja kolektor surya pemanas air dengan pelat absorber bentuk-V mengalami kenaikan efisiensi teoritis sebesar 2.60% dan kenaikan efisiensi aktual sebesar 2.25% dari unjuk kerja kolektor surya pemanas air dengan pelat absorber bentuk rata. Grafik kenaikan efisiensi dapat dilihat pada lampiran gambar 1.



Gambar 1. Efisiensi teoritis dan efisiensi aktual kolektor

PEMBAHASAN

Penelitian ini memperlihatkan temperatur rata-rata air keluar (T_{out}) kolektor pelat *absorber* bentuk-V sebesar 50.56 °C, sedangkan temperatur rata-rata air keluar (T_{out}) kolektor pelat *absorber* rata sebesar 50.03 °C. Dari temperatur rata-rata air masuk (T_{in}) sebesar 40.12 °C terjadi kenaikan temperatur rata-rata air keluar kolektor pelat *absorber* bentuk-V terhadap air masuk sebesar 10.44 °C, sedangkan kolektor pelat *absorber* bentuk rata sebesar 9.91 °C. Faktor ini dipengaruhi karena proses penyerapan panas pada kolektor pelat *absorber* bentuk-V lebih efektif dengan luasnya permukaan kontak perpindahan panas dari pada permukaan kontak kolektor pelat *absorber* bentuk rata.

Pengukuran pada pelat *absorber* memperlihatkan temperatur pelat *absorber* rata-rata kolektor pelat *absorber* bentuk-V lebih besar dari pada kolektor pelat *absorber* bentuk rata pada siang hari, sedangkan pada pagi dan sore hari temperatur kolektor pelat *absorber* bentuk-V cenderung sama dengan kolektor pelat *absorber* bentuk rata. Hal ini disebabkan karena kolektor bentuk-V terpengaruh oleh bayangan model-V (sirip), sehingga hanya sebagian pelat *absorber* terkena sinar matahari secara langsung, dan pada siang hari seluruh

permukaan pelat *absorber* terkena sinar matahari secara langsung.

Hasil perhitungan teoritis memperlihatkan bahwa terjadi peningkatan energi yang bermanfaat (Q_u) dengan meningkatnya intensitas matahari (I_T). Energi bermanfaat kolektor pelat *absorber* bentuk-V lebih besar dibandingkan dengan kolektor pelat *absorber* bentuk rata. Hal ini memperlihatkan besarnya energi panas yang diterima oleh kolektor pelat *absorber* bentuk-V dan efektifnya proses perpindahan panas dari pelat *absorber* ke fluida kerja (air).

Arah serta kemiringan pemasangan bisa mempengaruhi kinerja alat. Untuk memperoleh hasil maksimal harap diperhatikan ketentuan-ketentuan sebagai berikut : (1) Untuk daerah – daerah pemasangan yang berada di atas garis khatulistiwa, maka sebaiknya alat dihadapkan ke arah selatan, sebaliknya untuk daerah-daerah di bawah garis khatulistiwa, maka alat sebaiknya dihadapkan ke arah utara. Gunakan kompas untuk menentukan arah mata angin. (2) Jika pemasangan tidak bisa tepat ke arah utara atau selatan maka pergeseran yang disarankan maksimal 45⁰ ke arah timur atau barat, namun pergeseran ini akan mempengaruhi kinerja alat. (3) Untuk lokasi pemasangan di Indonesia, paling baik jika alat dipasang pada kemiringan 10⁰ - 20⁰ terhadap bidang datar. (4) Jika pada lokasi yang dipilih, arah maupun kemiringan atap diluar ketentuan yang dianjurkan di atas maka gunakan suatu rangka besi sebagai dudukan agar posisi yang dianjurkan bisa dicapai seoptimal mungkin. (5) Jika arah utara atau selatan tetap tidak bisa dipilih, maka pilihlah arah timur bila pemakaian air panas lebih banyak sebelum jam 14.00 Tetapi, jika pemakaian air panas lebih banyak setelah jam 14.00, maka pilihlah arah pemasangan ke barat (Rachman, 1998).

Radiasi surya yang tersedia diluar atmosfer bumi seperti yang diungkapkan oleh konstanta surya sebesar 1353 W/m² dikurangi oleh intensitasnya oleh penyerapan dan pemantulan atmosfer sebelum mencapai permukaan bumi. Solar constant adalah energi darimataharipersatuan waktu diterima pada

satuan luas permukaan tegak lurus terhadap arah rambatan dari radiasi pada rata-rata jarak bumi-matahari di luar atmosfer. Fluks radiasi matahari diukur dengan menggunakan alat piranometer dan pyrliometer. Untuk mengukur radiasi global dan difusi adalah alat piranometer. Bila terpasang horizontal dan menghadap ke atas, radiasi yang terukur adalah radiasi global. Bila alat tersebut digunakan dengan perlengkapan tudung (untuk menghalangi radiasi sinar langsung yang tiba pada alat, maka yang diukur adalah radiasi difusi. Untuk mengukur radiasi sorot digunakan alat *pyrheliometer*. Sensor pada alat tersebut senantiasa diarahkan ke sinar matahari, sehingga radiasi difusi terhalang dan yang terukur adalah radiasi sorot (Himran, 2005).

Kolektor surya pemanas air adalah sebuah alat yang digunakan untuk mengubah energi dan radiasi matahari menjadi energi panas air. Radiasi matahari ditransmisikan melalui penutup yang transparan dan diubah menjadi panas pada pelat penyerap. Selanjutnya, energi panas pada pelat *absorber* ditransfer ke air yang mengalir dalam pipa (Jansen T. J, 1995).

Kolektor surya pemanas air memiliki komponen utama yang terbuat dari selembar bahan konduktif termal yang disebut pelat penyerap (*absorber*) yang kepadanya menempel atau menjadi satu pipa-pipa pembawa cairan (Air) atau lazim disebut pipa pemanas (*riser pipe*). *Absorber* dibuat dari lembaran metal tipis dan permukaannya berwarna hitam karena benda hitam adalah penyerap radiasi yang sempurna. Penghitaman bisa dilakukan dengan pengecatan warna hitam sebagai cara yang paling mudah, atau dengan metoda yang lebih canggih dengan proses pelapisan seperti *elektroplating*, *anodizing*, dan lain-lain. Cara pelapisan canggih tersebut, misal dengan *black chrome* atau *black nickel*, dimasukkan selain untuk mempertinggi absorptivitasnya terhadap radiasi surya juga untuk memperendah emitansinya terhadap gelombang sinar inframerah (Sumarsono M, 2005).

Proses perpindahan panas secara umum yaitu konduksi, konveksi, dan radiasi. Panas

mengalir secara konduksi dari daerah yang bertemperatur tinggi ke daerah yang bertemperatur rendah. Kalor dipindahkan melalui benda perantara, namun benda perantaranya tidak ikut berpindah. Proses konduksi terjadi karena elektron-elektron bebas atau foton (paket gelombang akustik) yang berpindah. Jadi, tidak tampak perpindahannya secara makroskopik. Konveksi merupakan perpindahan panas yang disertai dengan perpindahan massa medianya, dan media konveksi adalah fluida. Konveksi terjadi karena adanya perbedaan kecepatan fluida bila suhunya berbeda, yang tentunya akan berakibat pada perbedaan berat jenis (berat tiap satuan volume). Fluida yang bersuhu tinggi akan mempunyai berat jenis yang lebih kecil bila dibandingkan dengan fluida sejenisnya yang bersuhu lebih rendah. Karena itu, maka fluida yang bersuhu tinggi akan naik sambil membawa energi. Hal inilah yang berakibat pada terjadinya perpindahan kalor konveksi. Radiasi adalah proses perpindahan panas melalui gelombang elektromagnetik atau paket – paket energi (*photon*) yang dapat dibawa sampai pada jarak yang sangat jauh tanpa memerlukan interaksi dengan medium. Disamping itu jumlah energi yang dipancarkan sebanding dengan temperatur benda tersebut. Kedua hal tersebut yang membedakan antara peristiwa perpindahan panas konduksi dan konveksi dengan perpindahan panas radiasi (Holman J. P, 1988).

PENUTUP

4.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian dan analisa data maka dapat ditarik kesimpulan bahwa hasil perhitungan absorptivitas rata-rata ($\alpha_{rata-rata}$), diperoleh bentuk optimal dari pelat *absorber* bentuk-V pada sudut $\beta = 21^\circ$ ($t = 4$ cm dan $l = 4$ cm). Selanjutnya bentuk-V ini diaplikasikan pada sistem kolektor surya pemanas air. Perbandingan efisiensi teoritis dan aktual kolektor pelat *absorber* bentuk-V dengan kolektor pelat *absorber* bentuk rata adalah Efisiensi teoritis rata – rata kolektor rata $\pm 48.60\%$. Efisiensi teoritis rata – rata kolektor bentuk-V $\pm 51.20\%$. Efisiensi aktual

rata – rata kolektor rata \pm 42.01%. Efisiensi aktual rata – rata kolektor bentuk-V \pm 44.26%. Dengan memperbandingkan kedua jenis kolektor tersebut dapat diketahui bahwa efisiensi teoritis rata – rata kolektor pelat *absorber* bentuk-V lebih tinggi \pm 2.60% dari pada kolektor pelat *absorber* bentuk rata, dan efisiensi aktual rata – rata kolektor pelat *absorber* bentuk-V lebih tinggi \pm 2.25% dari pada kolektor pelat *absorber* bentuk rata. Dari data penelitian juga dapat diketahui bahwa temperatur pelat *absorber* pada permukaan pipa masih tinggi. Hal ini menunjukkan masih besarnya kemungkinan untuk meningkatkan energi bermanfaat yang dipindahkan ke fluida kerja (air) dengan modifikasi/perbaikan pada termal kontak antara pelat *absorber* dengan pipa air.

DAFTAR PUSTAKA

- ASHRAE. (2011). ASHRAE Handbook: HVAC Applications, SI Edition. Solar Energy Use (Chapter 35) American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers.N.E Atlanta:Inc, 1791 Tullie Circle.
- Choudhury C. & Garg. H.P.(1991). Design Analisis of Corrugated and Flat Plate Solar Air Heaters. Renewable Energy Vol I, No.5/6: 595–607.
- Duffie. John A., Bechman.& William A. (1974). Solar Energy Thermal Processes.New York: John Wiley & Sons, Inc.
- Handoyo Ekadewi A.dkk. (2010). Unjuk kerja kolektor surya dengan absorber bentuk V yang dilengkapi honeycomb dengan beberapa aspek rasio. Jurnal Teknik Mesin Vol. 12,No. 2: 83–88.
- Himran Syukri. (2005). Energi Surya. Makassar: CV. Bintang Lamumpatue.
- Holman J.P. (1988).Perpindahan Kalor, edisi keenam. Jakarta: Erlangga.
- Jansen T.J. (1995). Teknologi rekayasa surya. Terjemahan oleh Arismunandar W. Jakarta: PT. Pradnya Paramita.
- Karim. Azharul Md. & Hawlader. M. N. A. (2004). Performance Investigation of Flat Plate, V-Corrugated and Finned Air Collector. Energy31:452-470.
- Metwally. M.N.,Ziyan. H.Z.Abou.&Leathy. A.M.El.(1997). Performanceof Advanced Corrugated Duct Solar Air Collector Compared with Five Conventional Designs. RenewableEnergy, Vol. 10,No.4:519–537.
- Rachman Ram. (1998). Prosedur pemasangan WIKA SWH. diakses pada tanggal 07 Juni
2015. Available from: <http://waterheater-wikaswh.com/index.php/daftar-artikel/78-prosedur-pemasangan-wika-swh>
- Sumarsono M. (2005). Optimasi jumlah pipa-pemanas terhadap kinerja kolektor surya pemanas air. Jurnal Ilmiah Teknologi Energi. Vol. 1 No. 1.