

EFEKTIFITAS KOLEKTOR ENERGI SURYA PADA KONFIGURASI PARALEL-SERPENTINE

Danny Syamsu W*. Kristian Selleng* dan Mustofa*

Abstract

This study aims to demonstrate the effectiveness of the collector on the fluid mass flow rate variations in sunlight collectors on the configuration of the combined 'parallel-serpentine'. Value of the mass flow rate is 0.09, 0.18 and 0.36 ltr/min. Fluid drained from the reservoir of cold water through the collector pipe and into the parallel configuration serpentine configuration and then stored in the hot water tank. The test results showed that the efficiency of a mass flow rate achieved at the optimum 0.36 liter / min. This result is probably leading to suitable for domestic purposes.

Keyword: mass flow rates, configuration and tank

1. Pendahuluan

Energi dikenal dengan energi terbarukan dan tak terbarukan, yang banyak dibicarakan dan digunakan sehari-hari adalah energi yang bersumber dari fosil bumi yang tak dapat diperbaharui (*unrenewable energy*) seperti minyak bakar, solar dan oli serta gas. Masalahnya disini, jenis energi ini mempunyai rentang waktu yang persediaannya sangat terbatas dan bisa habis. Oleh karena itu, perlu dipikirkan mencari sumber energi alternatif yang melimpah, tidak polutif, gratis dan tidak mengganggu keseimbangan ekosistem. Sumber energi cahaya matahari adalah jawabannya.

Potensi cahaya matahari banyak digunakan untuk pemanas air, pengering hasil-hasil pertanian, perikanan dan bahkan panel sel matahari yang lebih dikenal dengan (*solar cell panel*). Untuk kebutuhan pemanas air bisa secara langsung air menjadi panas dengan cahaya matahari. Cara ini tidak efektif untuk kondisi cuaca yang mendung dan tidak menghasilkan panas yang maksimum dan efisien. Pengumpul cahaya energi matahari menjadi alternatif yang efektif dan efisien yang bisa didesain dengan bahan-bahan sederhana dan terjangkau. Pengumpul yang dimaksud adalah kolektor tenaga matahari yang banyak digunakan untuk pemanas air kebutuhan rumah tangga dan industri. Kolektor tersebut dikategorikan sebagai

pemanas air secara tidak langsung bersumber dari cahaya matahari yang biayanya bisa murah.

Pengujian yang cukup menarik dilakukan oleh Tirtoatmojdo dan Handoyo (1999) dengan membandingkan penggunaan satu dan dua kaca penutup pada kolektor surya dengan konfigurasi pipa paralel jenis tembaga. Kesimpulan hasil penelitian mereka adalah, penggunaan 2 kaca penutup kolektor sangat efektif untuk daerah dengan intensitas matahari yang besar, karena jika pada intensitas radiasi cahaya matahari yang tidak besar, justru akan memperlambat laju transmisi cahaya matahari ke kolektor.

Handoyo (2000) kemudian melanjutkan pengujian dengan menerapkan konfigurasi pipa kolektor secara terpisah antara "paralel" dan "serpentine" jenis tembaga dengan luas kolektor surya 1.2 m². Hasil tes menunjukkan, temperatur air masuk pada pipa paralel lebih tinggi dibandingkan dengan konfigurasi pipa serpentine. Sebaliknya, suhu air keluar pipa serpentine lebih tinggi dari pagi sampai siang hari. Tapi, menjelang sore hari temperatur keluar konfigurasi pipa paralel yang lebih besar dari pada pipa serpentine. Baik Tirtoatmodjo dan Handoyo (1999) dan Handoyo (2000) mengambil data penelitian mulai pukul 10.00 sampai dengan 16.00 dengan sudut kemiringan kolektor yang diukur pada bidang horizontal arah selatan menghadap ke utara sebesar 10°.

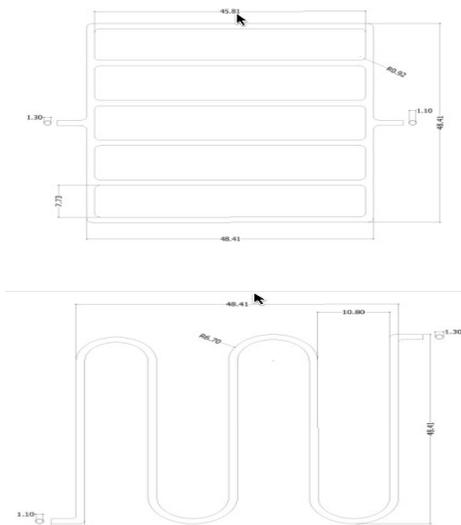
* Staf Pengajar Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Tadulako, Palu

Xiaowu *et al.* (2005) dan Juanico (2008) melakukan pengujian kolektor matahari untuk kebutuhan air panas skala rumah tangga dengan satu model konfigurasi dengan posisi kolektor yang terintegrasi dengan atap rumah. Luasan kolektor lebih besar dibandingkan dengan model kolektor pada penelitian ini dengan pertimbangan biaya dan skala penelitian.

Ditempat berbeda, Astuti (2010) berhasil melakukan pengujian kolektor surya profil bertingkat, pipa jenis aluminium pada kedua kolektor dengan konfigurasi pipa serpentine-serpentine yang pengamatannya dimulai pada pukul 09.30 sampai 15.00 lebih awal 30 menit dan 1 jam lebih cepat dari pengamatan Tirtoatmojdo dan Handoyo (1999) dan Handoyo (2000). Sementara Astuti (2010) memvariasikan 4 debit aliran air yang melewati kolektor untuk mendapatkan perbandingan hasil panas air yang maksimal mulai dari 0.04 liter/menit sampai 0.18 liter/menit. Hasilnya, semakin besar debit aliran, semakin menurun panas air yang melewati kolektor surya. Panas maksimum diperoleh pada intensitas radiasi matahari pukul 12.30-13.30.

2. Metodologi Penelitian

Penelitian ini menampilkan hasil pengujian konfigurasi, Paralel-Serpentine seperti pada Gambar 1. dengan menggunakan pipa jenis tembaga yang memodifikasi konfigurasi sitasi-sitasi di atas.



Gambar 1. Paralel-Serpentine

Pengambilan data dilakukan mulai pukul 09.30 sampai 15.00. Data direkam ketika cuaca terang yang disesuaikan dengan data BMKG palu (2010). Intensitas sinar matahari diukur dengan Solarimeter dalam satuan (W/m^2) dan dengan termokopel di beberapa titik pada pipa kolektor.

Data intensitas matahari dan temperatur masuk dan keluar kolektor dicatat setiap selang 30 menit, masing-masing dalam satuan W/m^2 dan $^{\circ}C$. Sementara debit aliran fluida air yang mengalir dari tandon air dingin masuk ke kolektor untuk dipanasi dan keluar kolektor untuk selanjutnya di tampung di tandon air panas yang di isolasi, divariasikan dari 0.09 liter/menit, 0.18 dan 0.36 liter/menit. Pengukuran temperatur pada debit 0.09 liter/menit dilakukan per setiap konfigurasi dengan thermokopel, sementara untuk 0.18 dan 0.36 liter/menit pengambilan data adalah per *series configuration* (paralel-serpentine). Hari-hari pengamatan disesuaikan dengan data intensitas cahaya matahari dari BMKG Palu tahun 2010.

3. Konduktivitas Thermal

Pemilihan bahan tembaga untuk pipa kolektor dan pelat aluminium sebagai dudukan pipa tembaga berdasarkan Tabel 1, dimana tembaga memiliki konduktivitas termal yang lebih baik daripada aluminium.

Tabel 1. Konduktivitas Termal Berbagai Bahan pada $0^{\circ}C$

| Bahan | Konduktivitas termal k | |
|------------------------------------|-----------------------------|----------------------------------|
| | $W/m \cdot ^{\circ}C$ | $Btu/h \cdot ft \cdot ^{\circ}C$ |
| Logam | | |
| Perak (murni) | 410 | 273 |
| Tembaga (murni) | 385 | 223 |
| Aluminium (murni) | 202 | 117 |
| Nikel (murni) | 93 | 54 |
| Besi (murni) | 73 | 42 |
| Baja karbon, 1% C | 43 | 25 |
| Timbal (murni) | 35 | 20.3 |
| Baja krom-nikel (18% Cr, 8% Ni) | 16.3 | 9.4 |

Sumber: Holman, 1993

4. Kolektor Energi Surya

Kolektor energi surya terdiri dari beberapa elemen diantaranya pelat *absorber* yang menyerap radiasi energi surya guna memperoleh

panas yang lebih besar, *fluida* penghantar panas, isolasi termal, penutup transparan, pengubah panas disebut pelat absorber.

Permukaan pada kolektor sering menggunakan permukaan yang hitam (*black body*) guna terjadinya penyerapan panas yang lebih besar dari radiasi energi surya, sehingga terjadinya perpindahan panas secara konveksi ke fluida, kemudian penyerapan radiasi matahari ini akan ditransfer ke fluida, serta dapat meningkatkan temperatur air panas masuk ke dalam ruang kolektor.

Untuk menghasilkan unjuk kerja yang optimal dari suatu kolektor surya yang akan dimanfaatkan untuk memanaskan fluida cair membutuhkan parameter-parameter desain. Salah satu dari parameter-parameter desain yang berkaitan dengan optimasi untuk kerja suatu kolektor adalah letak plat penyerap, konduktivitas termal pelat penyerap, dan pipa-pipa pembawa fluida. Pada Gambar 2 ditampilkan potongan *disassembly line* kolektor energi surya konfigurasi pipa paralel dan serpentine. Terlihat pipa-pipa kolektor 0.5" yang terhubung secara seri yang fluidanya mengalir dari paralel ke serpentine.

Konfigurasi kolektor yang berbeda (*different configuration*) dan bertingkat (*series collector*) memberikan efek pemanasan air dan efisiensi maksimal kebutuhan air panas domestik.

5. Analisis dan Pembahasan

5.1 Laju aliran fluida ($\dot{m} = 0.09$ liter/menit) konfigurasi paralel

Hasil eksperimen menunjukkan bahwa suhu maksimum yang keluar dari kolektor konfigurasi paralel diperoleh sebesar 55.1 °C pada pukul 12.30 dengan intensitas panas matahari 139.9 W/m² seperti pada Tabel 2 dan Gambar 3. Kenyataan ini juga menunjukkan bahwa kenaikan

suhu air setelah melewati kolektor paralel cukup signifikan sebagai akibat laju aliran massa air cukup besar dibandingkan dengan yang melewati kolektor serpentine.

5.2 Laju aliran massa fluida ($\dot{m} = 0.18$ liter/menit) konfigurasi serpentine

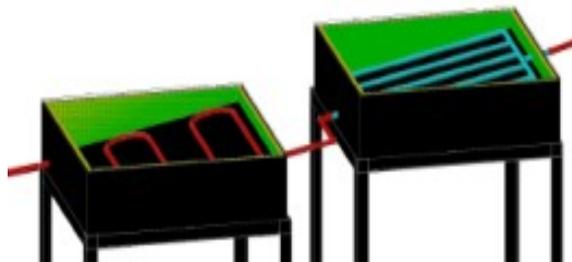
Hasilnya sedikit berbeda dengan pipa paralel ditunjukkan pada konfigurasi serpentine seperti terlihat pada Gambar 4, dengan temperatur air keluar kolektor mencapai 80° C pada pukul 12.00, sementara angka-angka suhu pada lingkungan dan tandon air dingin cenderung sama, sehingga suhu lingkungan bisa diabaikan seperti nampak pada Gambar 4 itu.

5.3 Laju aliran massa fluida ($\dot{m} = 0.18$ liter/menit) konfigurasi paralel-serpentine

Pengamatan dilakukan dengan mencatat perubahan temperature masuk pipa paralel dan keluar pipa serpentine yang hasilnya seperti nampak pada Gambar 5. Pergerakan fluktuatif diperlihatkan pada suhu yang melewati pipa paralel dan serpentine, kemungkinan disebabkan oleh factor cuaca yang cenderung berubah intensitas matahari, terlihat sedikit mendung padahal tidak hujan dan cahaya mentari tetap panas.

5.4 Laju aliran massa fluida ($\dot{m} = 0.36$ liter/menit) konfigurasi paralel-serpentine

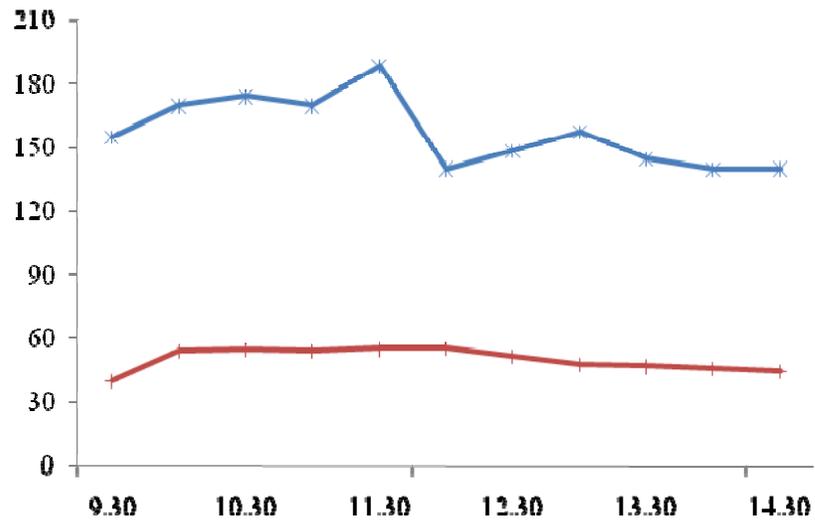
Hasilnya menunjukkan suhu maksimum dicapai pada tengah hari yang perlahan-lahan menurun seiring dengan kecondongan matahari ke barat. Seperti pada debit sebelumnya, debit 0.36 ltr/mnit memperlihatkan konfigurasi data suhu lingkungan dan pada tandon air dingin berimpit pada Gambar 5.



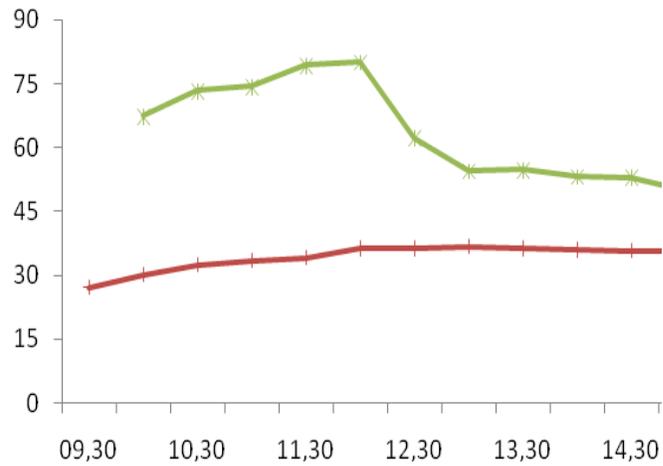
Gambar 2. Potongan *disassembly line* kolektor surya konfigurasi paralel-serpentine

Tabel 2. Data pengukuran pada debit 0.09 liter/menit pipa parallel

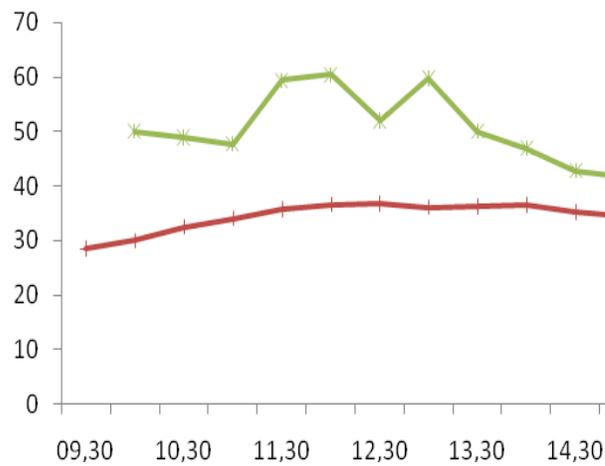
| Waktu (WITA) | Intensitas (W/m ²) | Temp. Lingkungan (°C) | Temp. Air Pada Tandon Air Dingin (°C) | Temp. Air Keluar Setelah Konfigurasi Pipa Paralel (°C) |
|--------------|--------------------------------|-----------------------|---------------------------------------|--|
| 09.30 | 120.2 | 29.5 | 29 | - |
| 10.00 | 155.3 | 34.4 | 29.6 | 40.1 |
| 10.30 | 169.9 | 36.7 | 31.6 | 53.7 |
| 11.00 | 174.1 | 36.3 | 33.5 | 54.6 |
| 11.30 | 169.9 | 38 | 34.9 | 54 |
| 12.00 | 188.6 | 38.7 | 36.4 | 54.9 |
| 12.30 | 139.9 | 36.1 | 37.7 | 55.1 |
| 13.00 | 148.3 | 36 | 38.5 | 51.3 |
| 13.30 | 157.8 | 34 | 38.8 | 47.8 |
| 14.00 | 144.8 | 32.6 | 38.3 | 46.7 |
| 14.30 | 139.8 | 32.4 | 37.7 | 45.9 |
| 15.00 | 140.1 | 31.8 | 37.3 | 44.4 |



Gambar 3. Profil intensitas matahari terhadap temperatur keluaran kolektor dari pagi hingga sore hari (2.30 pm) pada debit 0.09 ltr/mnt pada temperatur air sebelum melewati kolektor (+) dan setelah melewati kolektor paralel (*)



Gambar 4. Profil temperature konfigurasi paralel pada tandon air dingin (+) dan air panas keluar kolektor serpentine (*) terhadap waktu dengan $\dot{m} = 0.18$ ltr/mnt



Gambar 5. Profil temperature konfigurasi paralel-serpentine tandon air dingin (+) dan air panas keluar kolektor serpentine (*) terhadap waktu dengan $\dot{m} = 0.18$ ltr/mn

6. Efisiensi Kolektor

Unjuk kerja kolektor energy surya per laju aliran air (\dot{m}) dinyatakan sebagai berikut:

$$\frac{\eta}{\dot{m}} = \frac{C_p (T_{out} - T_{in})}{A_c I_T} \dots\dots\dots(1)$$

dengan

- \dot{m} = laju aliran massa fluida (kg/det)
- C_p = panas jenis air (J/kg °C)
- T_{out} = temperature fluida keluar (°C)
- T_{in} = temperature fluida masuk (°C)
- A_c = luas kolektor (m²)
- I_T = intensitas cahaya surya yang (W/m²)

Hasil desain alat sangat ditentukan oleh efisiensinya kerjanya dengan berbagai variasi parameter, seperti laju aliran massa dan konfigurasi pipa kolektor, seperti yang tercatat di Tabel 3.

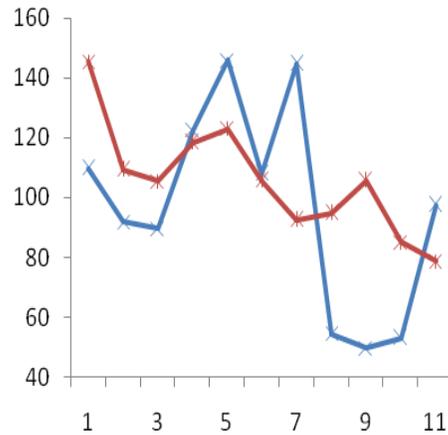
Tabel 3. Efisiensi per laju aliran massa Air kolektor paralel-serpentine ($\dot{m} = 0.18$ ltr/men)

| Jam [Wita] | η / \dot{m} (%) [kg.s] | I_T [Watt/m ²] |
|---------------|--------------------------------|---------------------------------|
| 10,00 | 206.75 | 138.5 |
| 10,30 | 221.14 | 142.4 |
| 11,00 | 212.92 | 147.9 |
| 11,30 | 242.03 | 143.5 |
| 12,00 | 209.75 | 160.8 |
| 12,30 | 154.24 | 130.1 |
| 13,00 | 135.49 | 101.4 |
| 13,30 | 127.94 | 111 |
| 14,00 | 110.08 | 120.6 |
| 14,30 | 115.84 | 114.6 |
| 15,00 | 93.38 | 118.2 |

Tabel 4. Efisiensi per laju aliran massa Air kolektor paralel-serpentine ($\dot{m} = 0.36$ ltr/men).

| Jam [Wita] | η / \dot{m} (%) [kg.s] | I_T [Watt/m ²] |
|---------------|--------------------------------|---------------------------------|
| 10,00 | 145.49 | 112.6 |
| 10,30 | 109.26 | 156.3 |
| 11,00 | 105.55 | 146.05 |
| 11,30 | 118.47 | 151.65 |
| 12,00 | 123.05 | 149.15 |
| 12,30 | 105.65 | 139.7 |
| 13,00 | 92.49 | 153.3 |
| 13,30 | 94.87 | 146.2 |
| 14,00 | 105.63 | 135.7 |
| 14,30 | 85.04 | 130.85 |
| 15,00 | 78.66 | 139 |

Untuk melihat efisiensi kedua laju aliran massa itu, dapat dilihat yang lebih jelas pada Gambar 6.



Gambar 6. Efisiensi kolektor terhadap waktu pemanasa pada laju aliran massa 0.18 (x) dan 0.36 ltr/mnt (*)

Tergambar bahwa efisiensi kolektor pada laju aliran massa yang lebih besar akan lebih stabil (temperatur air keluar kolektor serpentine).

7. Kesimpulan

- a Semakin besar aliran massa pada pipa konfigurasi paralel-serpentine, maka efisiensi kolektor semakin baik.
- b Untuk meningkatkan suhu keluaran kolektor diperlukan dimensi pipa dan luasan kolektor yang lebih besar.
- c Intensitas matahari yang cukup panas menerpa permukaan kolektor akan meningkatkan suhu keluaran.

8. Daftar Pustaka

- Astuti P, 2010, *Desain Sistem Pemanas Air Menggunakan Radiasi Sinar Matahari*, Skripsi, Jurusan Fisika Fak. Sains dan Teknologi, UIN, Malang.
- BMKG, 2001, Rata-rata Penyinaran Matahari Harian Tahun 2010, Palu.
- Handoyo EA, 2000, 'Perbandingan Konfigurasi Pipa Paralel dan Serpentine pada Unjuk Kerja Kolektor Surya Plat Datar', *Jurnal Teknik Mesin*, Vol. 2 No. 2, hal. 66-72, UKI Petra, Surabaya.
- Juanico L, 2008, 'A new design of roof-integrated water solar collector for domestic heating and cooling', *Solar Energy*, page 481-491.
- Tirtoatmodjo R, & Handoyo EA, 1999, 'Unjuk Kerja Pemanas Air Jenis Kolektor Surya Plat Datar dengan Satu dan Dua Kaca Penutup', *Jurnal Teknik Mesin*, Vol. 1 No. 2, hal. 115-121, UKI Petra, Surabaya.
- Xiaowu W, & Ben H, 2005, 'Exergy analysis of domestic-scale solar water heaters', *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 9, page 638-645.