

## **UNJUK KERJA KOLEKTOR SURYA PELAT DATAR ALIRAN SERPENTINE BERDASARKAN JENIS ELBOW DAN JARAK PIPA**

**Ismail<sup>1)\*</sup>, Amrizal<sup>1)</sup>, dan Amrul<sup>1)</sup>**

<sup>1)</sup>Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Lampung, Jl. Prof. Soemantri Brodjonegoro No. 1, Gedong Meneng, Bandar Lampung, 35145, Indonesia

<sup>\*)</sup>Email Korespondensi: [ismailyusha@gmail.com](mailto:ismailyusha@gmail.com)

### **Abstrak**

Energi surya merupakan energi alternatif yang baru dan terbarukan. Kolektor surya pelat datar merupakan alat yang sering digunakan untuk memanfaatkan energi surya. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui unjuk kerja kolektor surya pelat datar tipe aliran serpentin baik secara termal maupun pressure drop yang terjadi berdasarkan radius pipa elbow dan jarak antara pipa. Pengujian dilakukan pada kondisi steady sesuai standar EN 12975 menggunakan solar simulator di dalam ruangan. Pada penelitian ini telah dilakukan pengujian terhadap 4 jenis rangkaian solar kolektor type serpentin, yaitu; 1. Kolektor surya menggunakan sambungan short elbow 90° jarak antara pipa 80 mm rangkaian vertical, 2. Menggunakan sambungan short elbow 90° jarak antara pipa 80 mm rangkaian horizontal, 3. Menggunakan sambungan elbow jenis U-bend 180° jarak antara pipa 40 mm rangkaian vertical, 4. menggunakan sambungan short elbow 90° jarak antara pipa 40 mm rangkaian vertical. Hasil penelitian diperoleh Solar kolektor type serpentin sambungan short elbow 90° jarak pipa 80 mm memiliki unjuk kerja terbaik dari sisi koefisien kerugian panas dan pressure drop, pada laju aliran standar 0,009 Kg/s nilai koefisien rugi-rugi panas kolektor sebesar 2,0168 W/(m2K) dan nilai pressure drop 803 N/m2, dengan hasil persamaan regresi liniar  $y = -2,0168x + 0,4602 R^2 = 0,981$ . Solar kolektor type serpentin sambungan short elbow 90° jarak pipa 40 mm memiliki unjuk kerja terbaik dari sisi effisiensi perpindahan panas, dimana nilai effisiensi zero 51,17% dengan persamaan hasil perhitungan regresi liniar  $y = -3,018x + 0,5117 R^2 = 0,9712$ .

**Kata kunci:** Energi surya; kolektor surya; pelat datar; serpentine; EN 12975.

### **PENDAHULUAN**

Kebutuhan energi semakin meningkat seiring dengan pertumbuhan jumlah penduduk dan tingkat ekonomi, hal ini mendorong manusia untuk mencari energi alternatif yang baru dan terbarukan. Untuk mengatasi masalah tersebut maka digunakan salah satu energi alternatif yaitu energi matahari atau energi surya karena energi ini selain ramah lingkungan juga tidak menghasilkan CO<sub>2</sub> dan polutan.

Berbagai penelitian tentang kolektor surya telah dilakukan untuk menghasilkan performansi yang baik, diantaranya: Z. He-Fei dan L. Zalman [1] melakukan penelitian tentang unjuk kerja panas plate absorber tipe serpentine untuk menganalisa solusi removal factor untuk jumlah segmen serpentine N= 3 dan N=4. Penelitian ini merupakan penelitian lanjutan yang telah dilakukan oleh Abdel-Khalik [2] tentang Faktor panas yang hilang pada solar kolektor pelat datar pipa tipe serpentine.

Pada penelitian H. Shafrqat dan S.J. Horrison [3] melakukan penelitian eksperimental dan kajian numerik pendinginan udara pasif pada kolektor surya pelat datar dalam kondisi stagnan. Q. Tang et al. [4] melakukan penelitian terhadap unjuk kerja panas sebuah solar kolektor pelat datar tipe serpentine.

Pada penelitian D.C. Davide et al. [5] meneliti unjuk kerja thermal pelat datar kolektor surya dengan pelat yang dibentuk atau ditekuk sesuai bentuk/ roll-bond sesuai bentuk dan ukuran pipa. Razika I, et al. [6] melakukan studi eksperimental tentang pengaruh laju aliran volumetrik dan sudut kemiringan pada kinerja kolektor surya. Pada penelitian James Allan et al. [7] melakukan pengujian performance terhadap thermal dan Photovoltaic thermal (PVT) kolektor surya menggunakan solar simulator.

Pada penelitian ini akan dilakukan pengujian terhadap kolektor surya dengan dengan luas dan posisi plat kolektor yang sama 0,45m<sup>2</sup> namun

divariasikan rangkaian susunan aliran pipa riser, jarak pipa, dan jenis sambungan elbow. Kolektor surya pelat datar (flat plate solar collector) sering digunakan untuk memanfaatkan energi surya sebagai alat pengering. Penelitian dilakukan untuk mengetahui unjuk kerja kolektor surya pelat datar tipe aliran serpentin baik secara termal maupun pressure drop yang terjadi berdasarkan radius pipa elbow dan jarak antara pipa.

Untuk menentukan arah penelitian yang baik, ditentukan batasan masalah sebagai berikut:

1. Kolektor surya yang diuji adalah kolektor tipe aliran pada pipa serpentine
2. Pengujian dilakukan dengan menggunakan sumber panas radiasi dari solar simulator.
3. Fluida yang digunakan dalam penelitian adalah air bersih
4. Fluida (air) disirkulasikan menggunakan pompa dengan laju aliran 0,009 Kg/s
5. Pengujian dilakukan dengan 2 (dua) variasi sambungan yaitu elbow 900 short radius dan sambungan elbow 1800 (*U-bend*) serta dua variasi susunan pipa (vertikal dan horizontal).
6. Variabel yang diamati pada pengujian adalah temperatur air masuk dan keluar.
7. Luas pelat datar kolektor surya yang akan diuji adalah 0,45 m<sup>2</sup> dengan ukuran panjang 875 mm dan lebar 520 mm.

### **Dasar Teori**

Kolektor surya merupakan komponen utama dari sistem Kolektor energy surya. Perangkat kolektor surya berfungsi menyerap radiasi matahari yang masuk, mengubahnya menjadi panas, dan memindahkan panas ke fluida yang mengalir melalui kolektor, umumnya fluida berbentuk udara, air, atau minyak.

Pada dasarnya ada dua jenis kolektor surya; pertama jenis non-concentrating collector (tidak berkonsentrasi) atau stasioner yang memiliki wilayah yang sama untuk menangkap dan menyerap radiasi matahari, dan jenis yang ke-dua yaitu concentrating collector (berkonsentrasi) merupakan kolektor surya yang cocok untuk aplikasi pada temperatur yang tinggi. Kolektor surya juga dapat dibedakan berdasarkan jenis fluida perpindahan panas yang digunakan; air, cairan yang tidak beku, udara, atau minyak [8].

Berdasarkan posisi dan geraknya kolektor surya dapat dikategorikan pada sistem tetap (stationer),

single-axis tracking, dan two-axis tracking. Kolektor surya system stationer adalah kolektor permanen atau tetap di posisi dan tidak melacak matahari. Ada tiga jenis utama yang termasuk dalam kategori kolektor ini:

1. *Flat-plate collector* (FPC).
2. *Stationary compound parabolic collector* (CPC).
3. *Evacuated tube collector* (ETC).

Tipe susunan pipa aliran serpentine sangat baik karena tidak memiliki potensi masalah distribusi aliran yang tidak merata di berbagai tipe pipa. Fluida yang dipanaskan berupa cairan minyak, oli, dan udara. Keuntungan utama dari sebuah kolektor surya pelat datar adalah bahwa memanfaatkan kedua komponen radiasi matahari yaitu melalui sorotan langsung dan sebaran, tidak memerlukan tracking matahari dan juga karena desainnya yang sederhana, hanya sedikit memerlukan perawatan dan biaya pembuatan yang murah.

Radiasi matahari diserap oleh kolektor per satuan luas absorber  $S$  adalah perbedaan antara radiasi matahari datang dan kerugian optik. Energi panas yang hilang dari kolektor ke lingkungan dengan konduksi, konveksi, dan radiasi dapat direpresentasikan sebagai produk dari koefisien perpindahan panas  $U_L$  waktu yang berbeda antara temperatur tengah plat absorber  $T_{pm}$  dan suhu lingkungan  $T_a$ . Dalam kondisi steady output energi yang berguna dari kolektor dengan luas penampang  $A_c$  adalah perbedaan antara radiasi matahari diserap dan kehilangan panas/ thermal losses [9].

$$Q_U = A_c [S - U_L(T_{pm} - T_a)] \quad (1)$$

Yang menjadi permasalahan pada persamaan di atas adalah tempertur pelat absorber rata-rata sulit untuk dihitung atau diukur karena merupakan fungsi dari desain kolektor, surya insiden radiasi, dan kondisi fluida masuk. oleh karena itu perhitungan persamaan diatas dapat menggunakan temperatur fluida rata-rata ( $T_{fm}$ ) persamaan sebagai berikut:

$$Q_U = A_c F' [(\tau\alpha)_{\dot{e}} S - U_L(T_{fm} - T_a)] \quad (2)$$

Untuk nilai energi berguna yang diberikan kolektor ke fluida dapat dicari menggunakan

$$Q_U = \dot{m}C_p(T_{fo} - T_{fi}) \quad (3)$$

Efisiensi performa sebuah kolektor didefinisikan dengan rasio energi yang berguna berguna selama periode waktu tertentu ( $Q_U$ ) terhadap energi surya yang datang/*incident* radiasi ( $I_T$ ) selama periode waktu yang sama:

$$\eta = \frac{Q_U}{I_T A_c} \quad (4)$$

Koefisien kerugian panas menyeluruh adalah fungsi secara kompleks dari rancangan konstruksi dan kondisi pengoperasian sebuah kolektor. Kerugian kalor dari kolektor terjadi pada sisi bagian atas ( $U_t$ ), bawah ( $U_b$ ) dan samping kolektor ( $U_e$ ), yang digambarkan pada persamaan berikut,

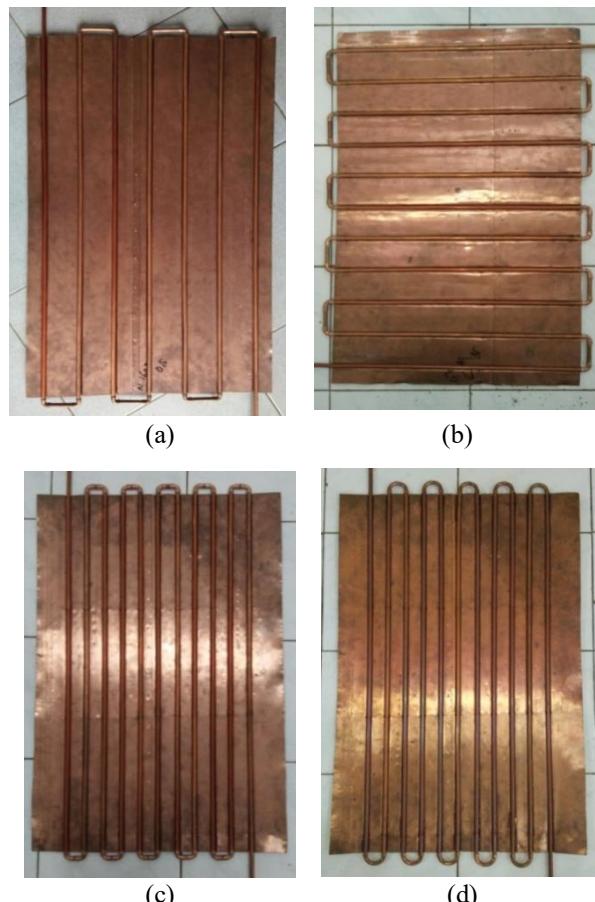
$$U_L = U_t + U_b + U_e \quad (5)$$

## METODOLOGI

Penelitian ini dibagi menjadi tiga tahapan, yaitu pembuatan, pengujian dan analisis kolektor. Kolektor dibuat sebanyak 4 unit yakni; 2 unit kolektor W 80 mm sambungan *short elbow* dengan variasi susunan pipa vertical dan horizontal, kemudian 2 unit kolektor W 40 mm dengan variasi sambungan sambungan *short elbow*  $90^\circ$  dan *U-bend*  $180^\circ$  dengan luas absorber sama (gambar 1.).

Metode pengujian yang digunakan adalah standar EN 12975-2:2006 [10], menggunakan solar simulator. Pengujian dilakukan pada laju aliran 0,009167 kg/s sesuai dengan luas kolektor 0,45 m<sup>2</sup> dengan variasi suhu air masuk kolektor 30, 40, 50 dan 60°C menggunakan heater dengan thermostat.

Data-data temperatur diukur menggunakan *Multi channel thermometer data logger* dengan 3 buah termokopel, yang merekam setiap sepuluh detik data selama lebih kurang 4 x time konstan. Data temperatur yang direkam meliputi fluida masuk ( $T_{fi}$ ), fluida keluar ( $T_{fo}$ ), ambien ( $T_a$ ). Intensitas radiasi ( $S$ ) diukur menggunakan solarimeter pada awal dan akhir pengujian. Sedangkan pressure drop menggunakan *U tube differensial pressure Gauge* [12].



Gambar 1. Rancangan Kolektor (a) W 80 mm susunan vertical, (b) W 80 mm susunan horizontal (c) W 40 mm sambungan *short elbow*  $90^\circ$ , dan (d) W 40 mm sambungan *u-bend*  $180^\circ$ .

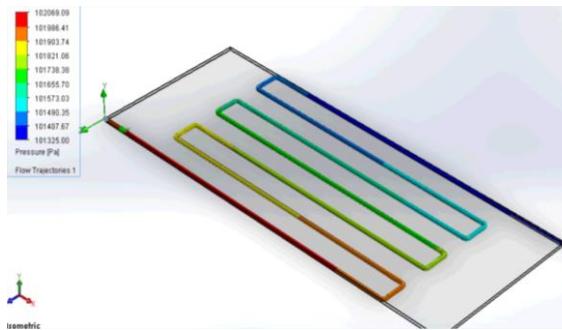
## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Unjuk Kerja Pressure Drop

Data *pressure drop* diperoleh dengan mengukur langsung kolektor surya pada laju aliran standar EN 12975 yaitu 0,002 kg/s/m<sup>2</sup>. Maka untuk plat kolektor seluas 0,45 m<sup>2</sup> laju aliran menurut adalah 0,009167 kg/s.

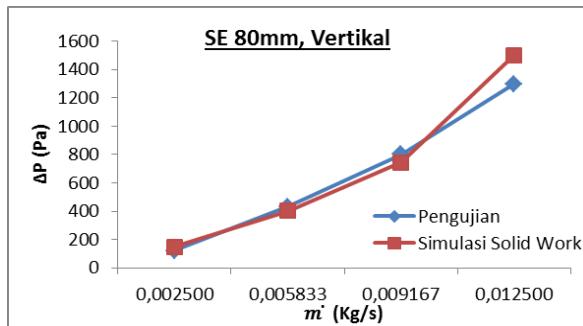
### *Pressure drop* Kolektor surya W 80 mm rangkaian vertikal.

Berikut hasil simulasi *pressure drop* menggunakan program *solid work* untuk pipa kolektor surya W 80 mm rangkaian pipa vertikal pada laju aliran 0,009 kg/s.



Gambar. 2. Hasil Simulasi *pressure drop* Kolektor surya W 80 mm rangkaian vertical

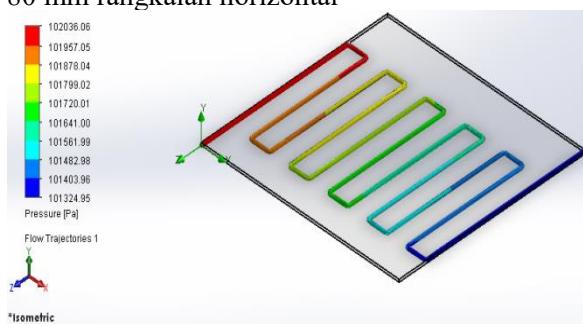
Pada gambar 3 dapat dilihat hasil pengujian dan simulasi *pressure drop* Kolektor surya W 80 mm rangkaian vertikal.



Gambar 3. Grafik *pressure drop* Kolektor surya W 80 mm rangkaian vertikal

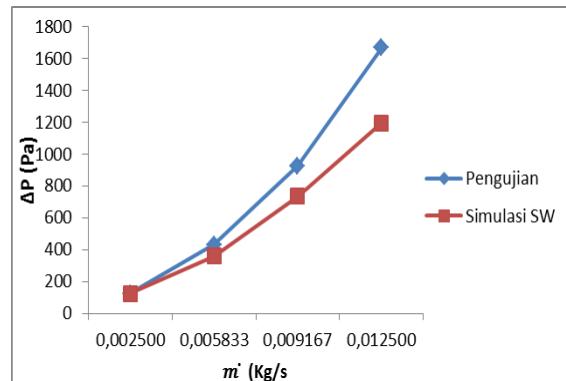
#### Pressure drop Kolektor surya W 80 mm rangkaian horizontal.

Hasil simulasi *pressure drop* kolektor surya W 80 mm rangkaian horizontal



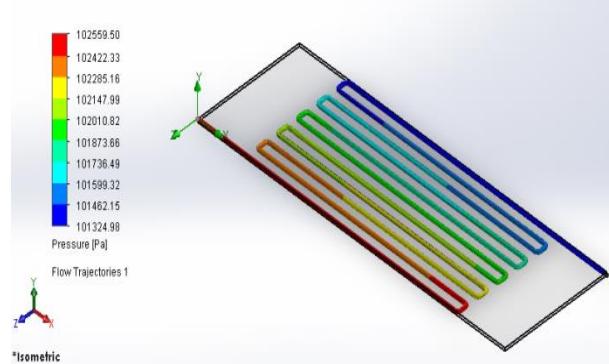
Gambar. 3. Hasil Simulasi *pressure drop* Kolektor surya W 80 mm rangkaian Horizontal.

Adapun hasil pengujian dan simulasi *pressure drop* Kolektor surya W 80 mm rangkaian horizontal



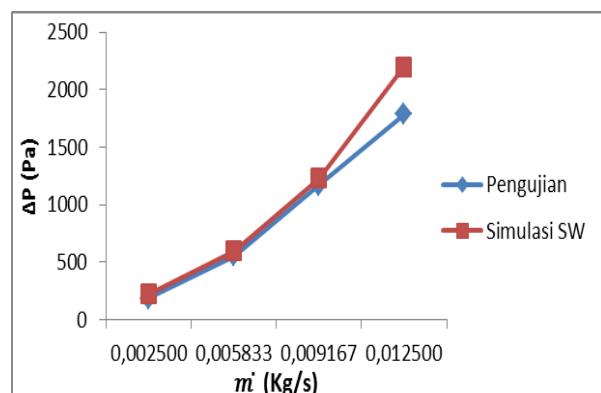
Gambar 4. Grafik *pressure drop* Kolektor surya W 80 mm rangkaian Horizontal

**Pressure drop kolektor surya W 40 mm rangkaian vertical menggunakan sambungan short elbow.**



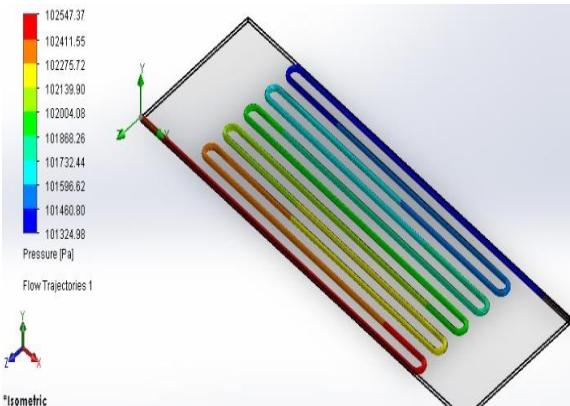
Gambar. 5. Hasil Simulasi *pressure drop* kolektor surya W 40 mm sambungan short elbow

Perbandingan *pressure drop* Kolektor surya kolektor surya W 40 mm menggunakan sambungan *short elbow*.

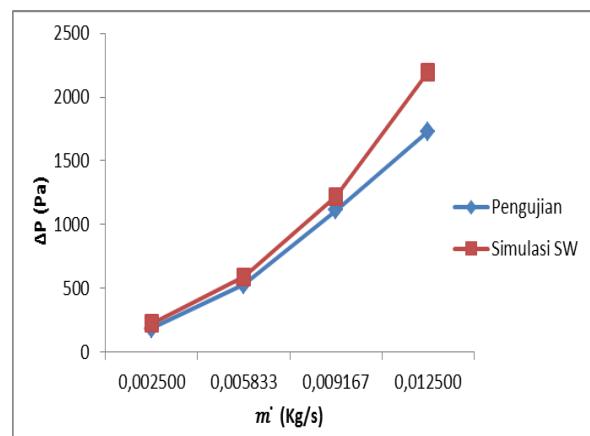


Gambar 6 Grafik *pressure drop* Kolektor surya kolektor surya W 40 mm sambungan short elbow

**Pressure drop Kolektor surya W 40 mm rangkaian vertical sambungan U-bend.**



Gambar. 7. Hasil Simulasi *pressure drop* Kolektor surya W 40 mm rangkaian vertical sambungan *U-bend*.



Gambar 8. Grafik *pressure drop* kolektor surya W 40 mm rangkaian vertical sambungan *U-bend*.

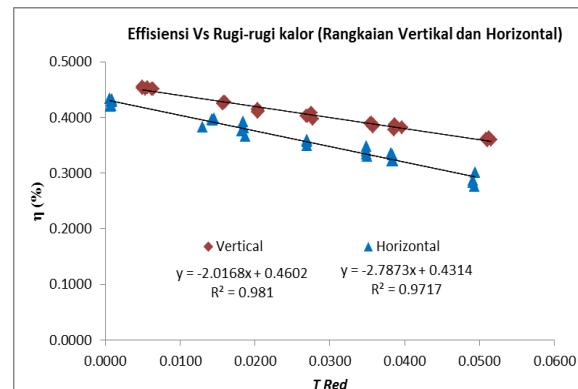
### Unjuk Kerja Thermal Kolektor Surya

#### Pengaruh rangkaian pipa vertikal dan horizontal

Unjuk kerja kolektor surya W 80 mm rangkaian pipa vertikal lebih baik dibandingkan dengan rangkaian pipa horizontal, baik dari nilai koefisien rugi-rugi panas maupun nilai effisiensi perpindahan panas. Nilai koefisien rugi-rugi panas untuk rangkaian vertikal  $-2,0169$  lebih rendah dibandingkan rangkaian horizontal  $-2,7873$ , dan nilai effisiensi zero perpindahan panas rangkaian pipa vertikal  $46,02\%$  lebih tinggi dari rangkaian pipa horizontal  $43,14\%$  (gbr. 9).

Berdasarkan nilai *pressure drop* rangkaian pipa vertikal juga lebih baik jika dibandingkan dengan rangkaian pipa horizontal, dimana nilai *pressure drop* pada aliran  $0,009167 \text{ kg/s}$  rangkaian pipa vertikal adalah  $803 \text{ N/m}^2$  lebih rendah

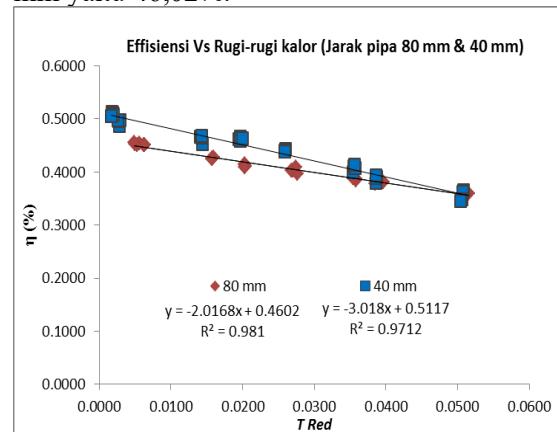
dibandingkan rangkaian pipa horizontal  $926 \text{ N/m}^2$ .



Gambar 9. Unjuk kerja Kolektor surya W 80 mm rangkaian vertikal dan horizontal

#### Pengaruh Jarak Pipa riser W 80 mm dan W 40 mm

Effisiensi thermal rangkaian kolektor surya serpentin jarak pipa (W) 40 mm yaitu  $51,17\%$  lebih baik bila dibandingkan kolektor surya W 80 mm yaitu  $46,02\%$ .

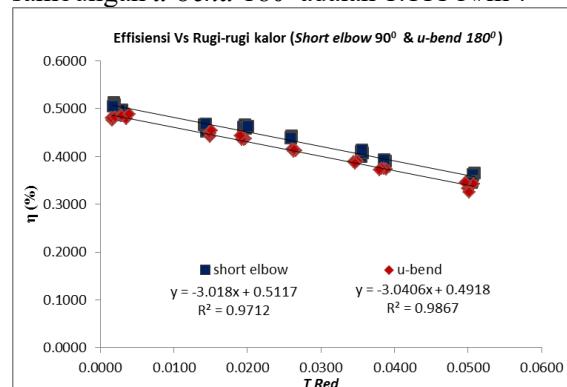


Gambar 10. Unjuk kerja Kolektor surya W 80 mm dan 40 mm

#### Pengaruh Jenis Sambungan $90^\circ$ dan sambungan $180^\circ$ .

Pada gambar 11 menunjukkan perbandingan unjuk kerja kolektor surya serpentin dengan jarak pipa (W) 40 mm menggunakan sambungan  $short elbow 90^\circ$  dan sambungan  $u-bend 180^\circ$ . Nilai koefisien rugi-rugi panas untuk kolektor surya menggunakan sambungan  $short elbow 90^\circ$  adalah  $-3,018$  lebih rendah dibandingkan dengan menggunakan sambungan  $u-bend 180^\circ$  yaitu  $-3,046$ , namun perbedaan rugi-rugi panas tidak terlalu signifikan karena dari segi konstruksi dan rangkaian yang relative memiliki kesamaan baik

dari panjang pipa maupun dari segi nilai *pressure drop*, pada sambungan *short elbow* 90° nilai *pressure drop* adalah 1.173 N/m<sup>2</sup> dan untuk sambungan *u-bend* 180° adalah 1.111 N/m<sup>2</sup>.

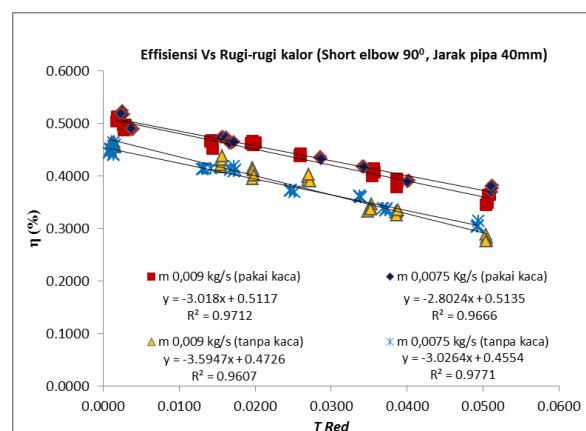


Gambar 11. Unjuk kerja Kolektor surya W 40 mm sambungan *short elbow* 90° dan sambungan *u-bend* 180°.

Nilai effisiensi zero perpindahan panas kolektor surya dengan sambungan *short elbow* 90° adalah 51,17%, lebih tinggi bila dibandingkan dengan sambungan *u-bend* 180° yaitu 49,18%.

#### Pengaruh variasi laju aliran dengan kaca penutup dan tanpa kaca penutup terhadap Unjuk Kerja Kolektor

Rangkaian kolektor surya W 40 mm menggunakan sambungan *short elbow* 90° mengalami peningkatan rugi-rugi panas ketika kaca penutup dibuka, pada pengujian aliran 0,009167 kg/s rugi-rugi panas naik dari 3,018 menjadi 3,5947 dan pada aliran fluida 0,0075 kg/s rugi-rugi panas naik dari 2,8024 menjadi 3,0264. Hal ini menunjukkan bahwa kolektor surya menggunakan kaca penutup lebih baik dari pada kolektor surya tanpa kaca penutup.



Gambar 12. Unjuk kerja kolektor surya W 40 mm menggunakan sambungan *short elbow* 90° variasi laju aliran, dan buka tutup kaca.

Effisiensi kolektor surya menggunakan kaca penutup juga lebih baik bila dibandingkan dengan kolektor surya tanpa kaca penutup, dimana effisiensi kolektor surya dengan kaca penutup pada aliran 0,009167 kg/s adalah 51,17% dan saat aliran fluida 0,0075 kg/s adalah 51,35%, sedangkan kolektor surya tanpa kaca penutup pada aliran 0,009167 kg/s adalah 47,26% dan pada aliran 0,0075 kg/s adalah 45,54%.

#### KESIMPULAN

Unjuk kerja solar kolektor rangkaian pipa riser vertical lebih baik dibandingkan rangkaian pipa horizontal dari sisi effisiensi thermal, rugi-rugi panas dan *pressure drop*.

Efesiensi kolektor meningkat dengan modifikasi jarak antar pipa riser (W) yang lebih rapat, dan menggunakan penutup kaca untuk menghindari kerugian panas, nilai koefisien kehilangan panas meningkat dan effisiensi turun saat kaca penutup pada solar kolektor dibuka.

Nilai *Pressure drop* yang diperoleh melalui simulasi mendekati dan ada kesamaan dengan pressure drop hasil pengujian, dalam hal perubahan desain dan rangkaian solar kolektor dapat dianalisa menggunakan simulasi aliran pada program solid work.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada bapak pembimbing beserta teman-teman mahasiswa Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung sehingga terlaksananya penelitian ini dengan baik.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] He-Fei Zhang dan Z. Lavan, 1985. Thermal performance of serpentine absorber plate. *Solar Energy* Vol.34, 175-177. Elsevier.
- [2] Abdel-Khalik S.I., 1976. *Heat removal factor for a flat-plate solar collector with a serpentine tube*. *Solar Energy* Vol.18, 59-64. Elsevier.
- [3] Shafrqat Hussain., Stephen J. Horrison., 2015. Experimental and numerical investigations of passive air cooling of a residential flat-plate solar collector under stagnation conditions. *Solar energy* 122 (2015) 1023 – 1036, Elsevier.

- [4] Tang Qianyu., Wang Hua., Wang Huitao., Qing Shan., 2011. *Serpentine flat plate collector thermal performance testing. Advanced material research vols 261-263.* Trans Tech Publications, Switzerland
- [5] Davide Del Col, Andrea Padovan, Matteo Bortolato, Marco Dai Prè, Enrico Zambolin., 2013. Thermal performance of flat plate solar collectors with sheet-and-tube and roll-bond absorbers. Energy Vol 58, 258e269. Elsevier.
- [6] Razika I et al, 2013. The effects of volumetric flow rate and inclination angle on the performance of a solar thermal collector. Energy Convers Manage, Elsevier.
- [7] James Allan., D. Zahir. S. Siniska, dan Mauricette. L, 2015. Performance testing of thermal and photovoltaic thermal solar collectors, Energy Science & Engineering published by the Society of Chemical Industry dan John Wiley & Sons Ltd
- [8] Kalogirou.Soteris., 2004, "Solar Energy Engineering", *Progress in Energy and Combustion*, Science 30, 231–295.
- [9] Duffie, J.A., dan Beckman, W.A., 2013, "Solar Engineering of Thermal Processes," 4<sup>th</sup> edition., Hobokem, NJ: John Wiley & Son, New York.
- [10] EN 12975-2. *Thermal solar systems and components e solar collector part 2: test methods.* Brussels: CEN; 2006.
- [11] Frang P Incropera., 2007. Fundamentals of Heat and mass transfer , 6th Edition, United States of America: John Wiley & Sons, Inc.
- [12] Bruce R. Munson, et al., 2013. Fundamentals of fluid mechanics, 7th edition : John Wiley & Sons, Inc
- [13] Goswami D. Yogi., 2015. *Principles Of Solar Engineering*, Taylor & Francis Group, LLC.
- [14] Yunus A. Cengel. 2002. Heat and Mass Transfer A Practical Approach, Third Edition. McGraw-Hill



This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC-BY).