

Karakteristik Kolektor Surya Pelat Datar Aliran Spiral Menggunakan Metode Simulasi CFD

Characteristics a Spiral Flat Plate Solar Collectors Using CFD Simulation Method

Ahmad Yonanda¹, dan Amrizal¹

¹ Universitas Lampung

² Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Lampung, Indonesia

*email: ahmad.yonanda@yahoo.com

Disubmit: 28 April 2021 Direvisi: 30 April 2021 Diterima: 30 April 2021

ABSTRAK

Kolektor surya pelat datar sering digunakan dalam memanfaatkan energi surya. Kolektor ini memiliki keuntungan yaitu dapat menyerap dengan baik radiasi matahari. Untuk mengkarakteristik unjuk kerja kolektor surya dapat digunakan metode *Computational Fluid Dynamic* (CFD). CFD memberikan kemudahan untuk menganalisis karakteristik aliran fluida. Tujuan dari penelitian ini adalah melihat karakteristik unjuk kerja termal dan pressure drop kolektor surya pelat datar aliran spiral dan serpentine menggunakan CFD. Langkah-langkah yang dibutuhkan dalam proses simulasi CFD meliputi: desain dan name selection geometri, meshing, pemilihan metode radiasi, pemilihan jenis material dan input kondisi batas. Kemudian proses validitas dilakukan terhadap hasil simulasi dengan cara membandingkan dengan data eksperimen aliran serpentine. Langkah selanjutnya mensimulasikan kolektor surya pelat datar aliran spiral dengan metode CFD kemudian hasilnya dibandingkan dengan hasil data simulasi aliran serpentine. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa untuk jenis aliran spiral setiap kenaikan laju aliran massa sebesar 0.005 kg/s maka temperatur maksimal fluida kerja akan mengalami penurunan sebesar 2°C. Kemudian pada laju aliran massa terbesar yaitu 0.02 kg/s, *pressure drop* maksimal fluida kerja (air) ialah 1339 Pa. Penggunaan jenis aliran spiral pada kolektor surya pelat datar akan meningkatkan nilai temperatur keluar fluida kerja (Tout) sebesar 3.14 % dan menurunkan temperatur permukaan kolektor sebesar 6.4 % serta *pressure drop* fluida sebesar 15.08 %.

Kata kunci: Kolektor surya, *Pressure drop*, Spiral, Serpentine, Temperatur.

ABSTRACT

Flat plate solar collectors are often used in harnessing solar energy. This collector has the advantage of being able to absorb solar radiation well. To characterize the performance of the solar collector, the Computational Fluid Dynamic (CFD) method can be used in the present study. CFD provides benefits for analyzing fluid flow characteristics. The purpose of this research is to characterize the thermal performance and pressure drop of spiral and serpentine tube solar collector using CFD method. The steps required in the CFD simulation process include: design and selection of geometry names, meshing, radiation planning, selection of material types and input conditions of boundary conditions. Then the validity process is carried out and compared to those obtained from experimental data. The next step is to simulate for both the thermal performance and pressure drop of spiral and serpentine flow solar collectors flat using the CFD method. In comparison with the serpentine flow type, the use of the spiral flow type on the flat plate solar collector will increase the value of the outlet working fluid temperature (Tout) by 3.14%. Otherwise, the use of the spiral flow type will reduce collector surface temperature about 6.4 % respectively and the pressure drop of working fluid about 15.08%.

Keywords: solar collector, spiral, serpentine, temperature, pressure drop

PENDAHULUAN

Kebutuhan energi fosil di dunia akhir-akhir ini sangat meningkat tajam. Hal ini mendorong manusia untuk mencari energi alternatif yang baru dan terbarukan (EBT). Salah satu energi alternatif baru dan terbarukan yaitu energi surya. Energi surya atau energi matahari merupakan energi terbarukan bebas yang tidak akan ada habisnya serta ramah lingkungan dan bebas polusi. Pemanfaatan energi matahari yang baik dapat menjadi potensi utama menggantikan energi fosil serta dapat menjadi energi terbarukan (Dong, et al., 2020). Indonesia merupakan salah satu negara yang memiliki paparan intensitas radiasi matahari yang baik. dengan dilintasi oleh garis khatulistiwa radiasi yang. Hal ini dibuktikan dengan distribusi radiasi rata rata pada keseluruhan wilayah Indonesia yaitu sebesar $12.38 \text{ MJ.m}^{-2}/\text{hari}$ (Souissa, 2009). Pemanfaatan yang tepat mengenai energi matahari ialah dengan menggunakan dua cara yaitu. panel surya dan kolektor surya. Panel surya ialah alat yang dapat mengkonversi energi cahaya menjadi energi listrik sedangkan kolektor surya merupakan alat yang memanfaatkan radiasi matahari dan menghasilkan fluida kerja bertemperatur tinggi yang dapat digunakan untuk berbagai keperluan pada rumah tangga. hotel. rumah sakit. sektor industri dan lainnya (Allan, at al., 2015).

Prinsip kerja kolektor surya dimulai dari radiasi matahari diserap oleh absorber pelat hitam. kemudian panas yang dihasilkan ditransfer ke fluida kerja yang mengalir dalam pipa-pipa dibawah absorber. Pemakaian *absorber* pelat hitam tersebut dimaksudkan untuk mengisolasi energi radiasi surya yang sudah mengenai absorber dengan maksimal ditransfer ke fluida kerja. Fluida kerja yang digunakan biasanya menggunakan air. Panas air tersebutlah yang dimanfaatkan untuk berbagai keperluan (Kalogirou, et al. 2003) Secara umum kolektor surya memiliki dua jenis yaitu jenis pelat datar dan parabolic. Kolektor surya tipe pelat datar memiliki keuntungan yaitu dapat menyerap dengan baik radiasi matahari yang mengenai kolektor tersebut (Verma, et al., 2020). Pada umumnya bentuk aliran atau susunan pipa pada kolektor surya yaitu berbentuk serpentine dan parallel. Pada penelitian ini digunakan jenis aliran atau bentuk spiral karena memiliki kontak perpindahan panas yang cukup signifikan dibandingkan dengan jenis aliran konvensional (serpentine atau parallel) (Wang, et al., 2000).

Unjuk kerja kolektor surya dapat ditinjau berdasarkan beberapa parameter yaitu termal dan besar penurunan tekanan fluida (*pressure drop*) (Duffie & Beckman, 1980). Pada penelitian ini mengkaji karakteristik unjuk kerja termal dan *pressure drop*. Untuk mengkarakterisasi unjuk kerja termal dan *pressure drop* dapat dianalisis dengan menggunakan metode simulasi Computational Fluid Dynamic (CFD). CFD adalah sekumpulan metodologi yang menggunakan metode numerik dan algoritma untuk melakukan simulasi aliran fluida yang berkaitan dengan distribusi temperatur dan tekanan yang terjadi. Dari dasar inilah penelitian terhadap pemanfaatan energi surya sangat dibutuhkan dalam rangka mendukung pemanfaatan energi baru dan terbarukan (EBT). Sementara itu jumlah permintaan kolektor surya termal diprediksi akan terus meningkat dimasa yang akan datang. Salah satu kajian yang menarik untuk diteliti adalah Karakteristik Kolektor Surya Pelat Datar Aliran Spiral dan Serpentine menggunakan Metode Simulasi CFD.

METODE PENELITIAN

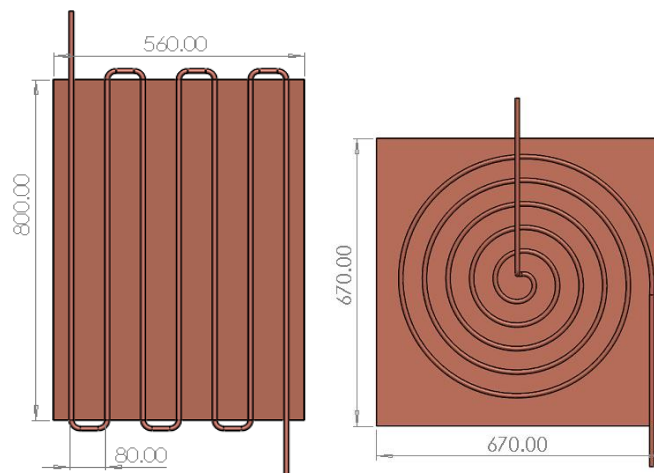
Pada penelitian ini data eksperimen didapatkan berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh peneliti sebelumnya (Ismail, 2016) . Data eksperimen ini akan dijadikan acuan untuk validasi hasil simulasi. Adapun data eksperimen yang diperoleh antara lain: Intensitas radiasi matahari (S). Temperatur fluida masuk (T_{in}). Temperatur fluida keluar (T_{out}). Laju aliran massa (\dot{m}). *Pressure drop* (ΔP). kemudian data tersebut disajikan dalam tabel 1.

Tabel 1. Data eksperimen parameter pengujian kolektor surya aliran *serpentine*

Parameter Input	Simbol	Nilai	Satuan
Dimensi kolektor surya	(Px l)	950 x 800	mm
Luas Kolektor Surya	(A)	760	mm ²
Temperatur fluida masuk	(T_{in})	30.00	°C
Temperatur fluida keluar	(T_{out})	33.80	°C
Laju aliran massa	(\dot{m})	0.0125	Kg/s
<i>Pressure drop</i>	ΔP	123	Pa
Jarak antara pipa	(W)	80	mm
Intensitas radiasi matahari	(S)	825	W/m ²
Tebal pelat	-	3	mm
Diameter pipa luar	D_{out}	10	mm
Diameter pipa dalam	D_{in}	9	mm
Panjang pipa	(l)	6400	mm

Setelah geometri kolektor surya diketahui maka selanjutnya dilakukan proses simulasi menggunakan metode CFD. Sebelum dilakukan simulasi maka harus membuat desain geometri 3 dimensi. Desain geometri menggunakan software CFD. Langkah-langkah proses simulasi CFD meliputi: mendesain geometri. mesh. setup and solution.

1. Geometri

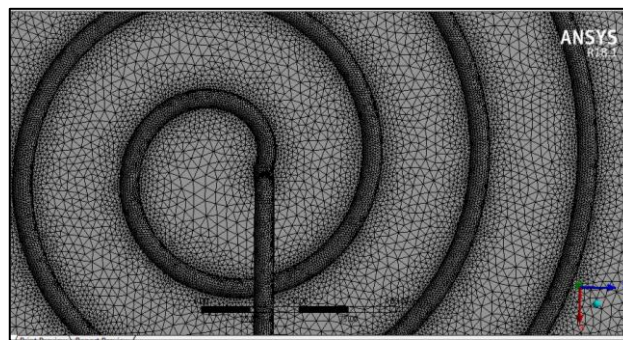


Gambar 1. Desain geometri kolektor surya pelat datar (a) aliran spiral; (b) aliran serpentine

Pada gambar 1 menunjukkan 2 bentuk desain geometri kolektor surya yang berbeda. tetapi luas permukaan pelat dan panjang pipa yang sama yaitu 760 mm^2 dan 6.400 mm^2 . Penelitian ini menggunakan desain aliran spirial yaitu pada gambar 1 (a). Setelah geometri dibuat maka tahap selanjutnya ialah tahap *mesh*.

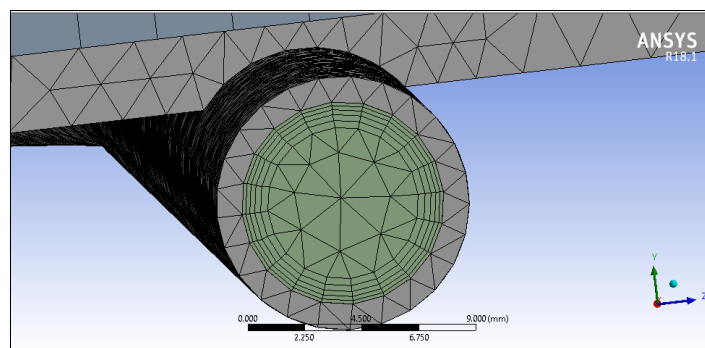
2. *Mesh*

Setelah geometri dibuat maka tahap selanjutnya ialah tahap mesh. Ukuran mesh yang terdapat pada suatu objek akan mempengaruhi ketelitian analisis CFD yang akan dilakukan. Semakin kecil ukuran mesh pada suatu objek. maka hasil yang didapatkan akan semakin teliti (ANSYS Fluent Release 18.1. 2017)



Gambar 2. Mesh pipa. Image used courtesy of ANSYS. Inc.

Pada kasus ini untuk geometri *casing* menggunakan jenis *mesh hexahedra* sedangkan untuk geometri kolektor menggunakan jenis *mesh tetrahendra* ditunjukkan oleh gambar 3. Untuk *mesh* jenis *hexahedra* merupakan *mesh* paling ideal karena memiliki resolusi terbaik. proses konvergensi yang cepat dan efisien dalam penyusunan jumlah elemen tetapi memiliki kekurangan yaitu sulit untuk mengikuti pola geometri yang rumit. Pemilihan elemen size pada kasus ini yaitu 1 mm mendefinisikan ukuran minimum pada daerah objek tersebut sebesar 1 mm.



Gambar 3. Mesh jenis tetrahedral (segitiga). Image used courtesy of ANSYS. Inc.

3. *Setup and solution*

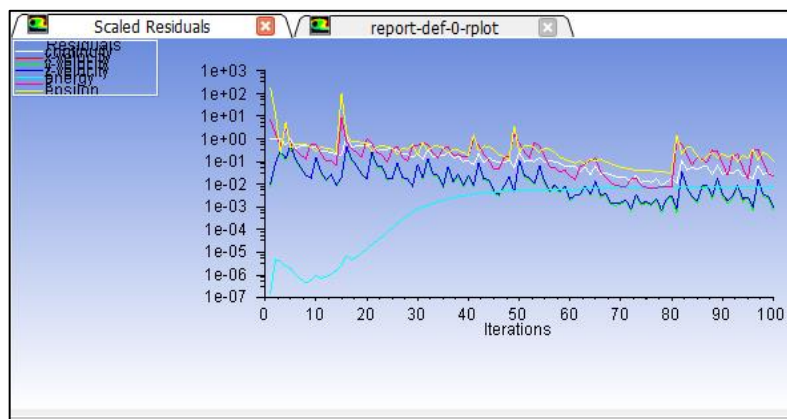
Pada tahap ini ada banyak hal yang harus dilakukan kaitannya dengan penentuan kondisi batas dalam sebuah simulasi CFD. Proses ini merupakan proses sangat penting karena hampir semua parameter penelitian diproses dalam tahapan ini. Adapun tahapan

pada *solution* adalah *general. models. materials. cell zone conditions. boundary conditions* dan *iterations*.



Gambar 4. Pemodelan kondisi batas dan jenis material kolektor surya.

Pada gambar 4 memperlihatkan pemodelan untuk kondisi batas dan material yang digunakan kolektor surya. Material penyerap panas menggunakan tembaga kemudian diberikan cover (penutup) dengan tujuan meningkatkan panas pada kolektor surya. Kemudian data-data tersebut nantinya dijadikan sebagai parameter dan kondisi batas yang dimasukkan ke program simulasi CFD. Selanjutnya yaitu pada tahap proses iterasi.



Gambar 5. Hasil *Iterations* dalam bentuk grafik *residuals*. Image used courtesy of ANSYS. Inc.

Proses iterasi atau perhitungan numerik dilakukan oleh program simulasi CFD hingga terjadi konvergensi. Indikator bahwa konvergensi telah tercapai adalah pada grafik “Residual” menunjukkan penurunan (gambar 5). Dilakukan sebanyak “100” perhitungan numerik. Selanjutnya tahap akhir yaitu *Post-processing*. Pada tahap *Post-processing* merupakan tahap akhir dimana hasil perhitungan diinterpretasikan ke dalam gambar, grafik bahkan animasi dengan pola-pola warna tertentu. Pada penelitian ini

diambil data plot kontur warna pada permukaan kolektor surya terhadap variasi temperatur fluida masuk (*inlet*).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Telah dilakukan penelitian mengenai karakteristik kolektor surya pelat datar aliran spiral dan *serpentine* menggunakan metode simulasi CFD. Prosedur validitas *software* simulasi CFD dilakukan membandingkan hasil simulasi terhadap data eksperimen dengan melihat perbandingan karakteristik termal dan *pressure drop*. Selanjutnya dilakukan analisis hasil simulasi termal dan *pressure drop* pada kolektor surya aliran spiral kemudian dibandingkan dengan data hasil simulasi aliran *serpentine*.

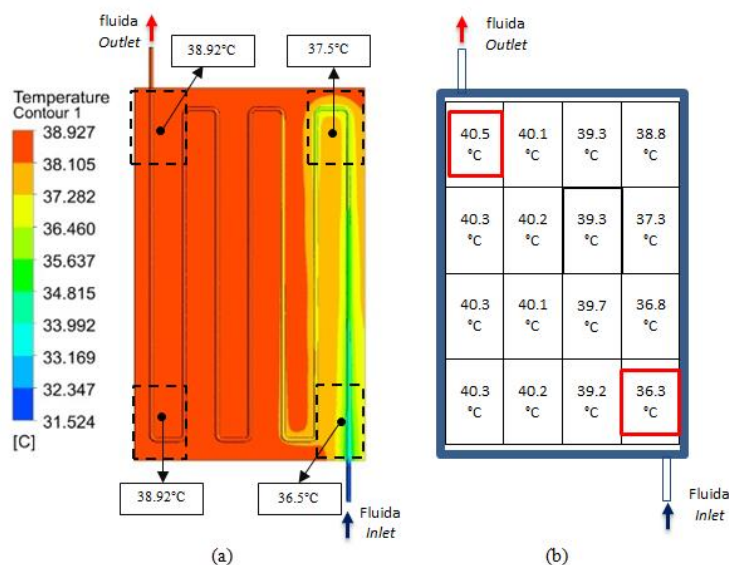
Untuk lebih jelasnya akan disajikan dalam sub-bab berikut:

A. Validitas Hasil Simulasi

Setelah simulasi dilakukan maka proses selanjutnya yaitu validitas apakah hasil simulasi mendekati data eksperimen. Untuk mengetahui validitas *software* simulasi yang maka dilakukan validitas hasil simulasi dengan data eksperimen. Validitas menggambarkan penggunaan pemodelan simulasi numerik sebagai pendekatan *CFD* untuk mensimulasikan aliran fluida dan perpindahan panas dari kolektor surya. Pada kasus ini validitas dilakukan berdasarkan analisis termal dan *pressure drop*.

1. Validitas berdasarkan analisis termal

Selanjutnya diperoleh data temperatur permukaan pada data eksperimen didapatkan hasil pengukuran temperatur pelat menggunakan termometer. Pengukuran dibagi menjadi 16 titik dengan tujuan untuk mempermudah melihat perbandingan antara hasil simulasi dan data eksperimen..

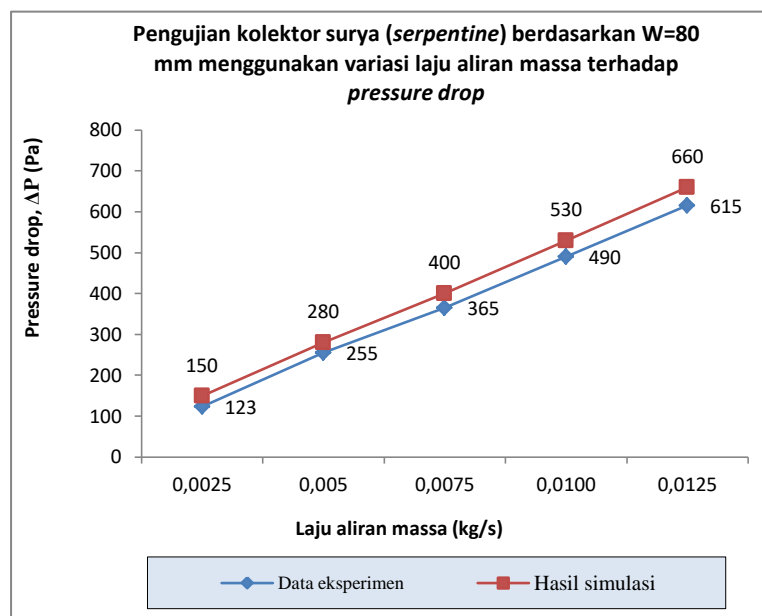


Gambar 6. Distribusi temperatur permukaan pelat kolektor surya. pengujian (a) simulasi. (b) eksperimen.

Berdasarkan gambar 6. hasil simulasi daerah permukaan fluida *inlet* memperlihatkan kontur warna hijau muda yang artinya bertemperatur 36.5 °C dan fluida *outlet* memperlihatkan warna merah yang bertemperatur 38.9 °C. Pada daerah permukaan fluida *inlet* memperlihatkan temperatur permukaan pelat 36.3 °C dan fluida *outlet* 40.5 °C dengan nilai faktor koreksi masing-masing sebesar 0.97(*inlet*) dan 0.96 (*outlet*). Hal ini menunjukkan adanya kedekatan nilai faktor koreksi yang cenderung sama antara hasil simulasi dengan data eksperimen. Dengan demikian *software* simulasi yang digunakan dapat diandalkan untuk memprediksi karakteristik termal dari kolektor.

2. Validitas berdasarkan analisis *pressure drop*

Untuk melihat perbandingan data *pressure drop* hasil eksperimen. maka dilakukan pengujian simulasi dengan menggunakan 4 variasi laju aliran massa yaitu 0.0025 kg/s. 0.005 kg/s. 0.01 kg/s dan 0.0125 kg/s.



Gambar 7. Grafik perbandingan hasil simulasi terhadap eksperimen berdasarkan temperatur fluida keluar.

Berdasarkan gambar grafik 7. pada laju aliran massa terendah yaitu 0.0025 kg/s nilai *pressure drop* hasil simulasi yaitu 155 Pa sedangkan eksperimen sebesar 123 Pa dengan nilai faktor koreksi 0.80. Kemudian untuk laju aliran massa terbesar 0.0125 kg/s pada hasil simulasi nilai *pressure drop* sebesar 655 Pa dan eksperimen sebesar 603 Pa dengan nilai faktor koreksi 0.86. Dari data tersebut dapat disimpulkan bahwa hasil simulasi dengan eksperimen memiliki kedekatan nilai faktor koreksi yang cenderung

sama. Dengan demikian model simulasi dapat diandalkan untuk memprediksi karakteristik aliran fluida dari kolektor surya (Yonanda. 2019).

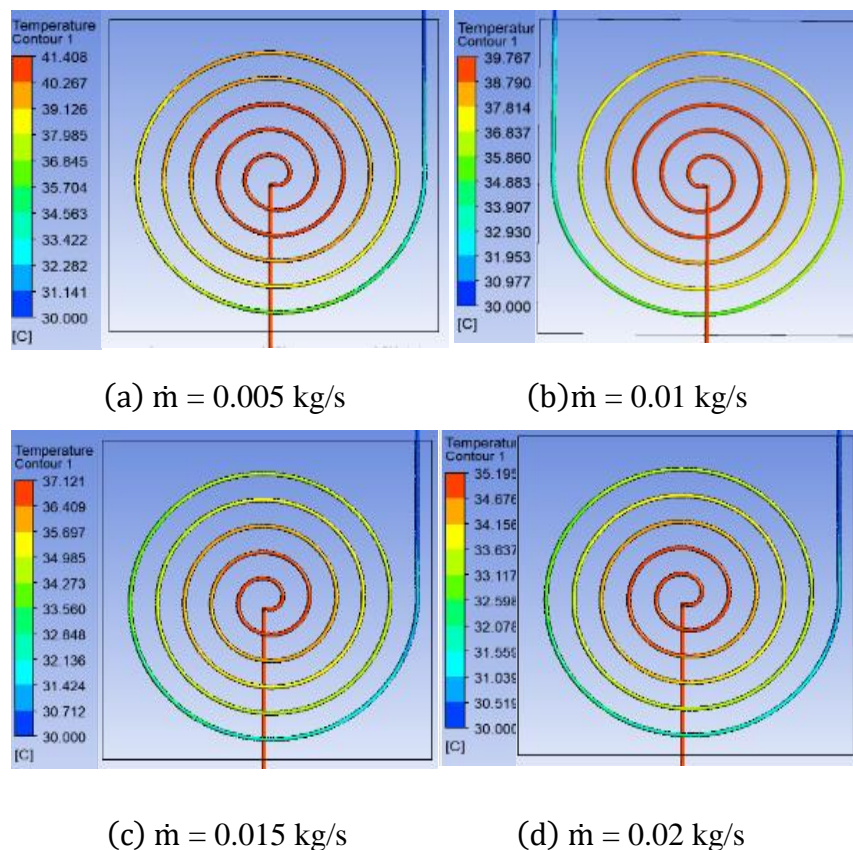
B. Analisis Unjuk Kerja Kolektor Aliran Spiral

Simulasi yang dilakukan yaitu menggunakan variasi *inlet* laju aliran massa yaitu 0.005 kg/s. 0.01 kg/s. 0.015 kg/s dan 0.02 kg/s.

1. Analisis termal

Simulasi dilakukan dengan cara memvariasikan laju aliran massa fluida kerja dengan tujuan untuk melihat pengaruh laju aliran massa terhadap temperatur fluida kerja dan temperatur permukaan kolektor surya dengan fluida kerja air (H₂O).

a. Fluida kerja (air)

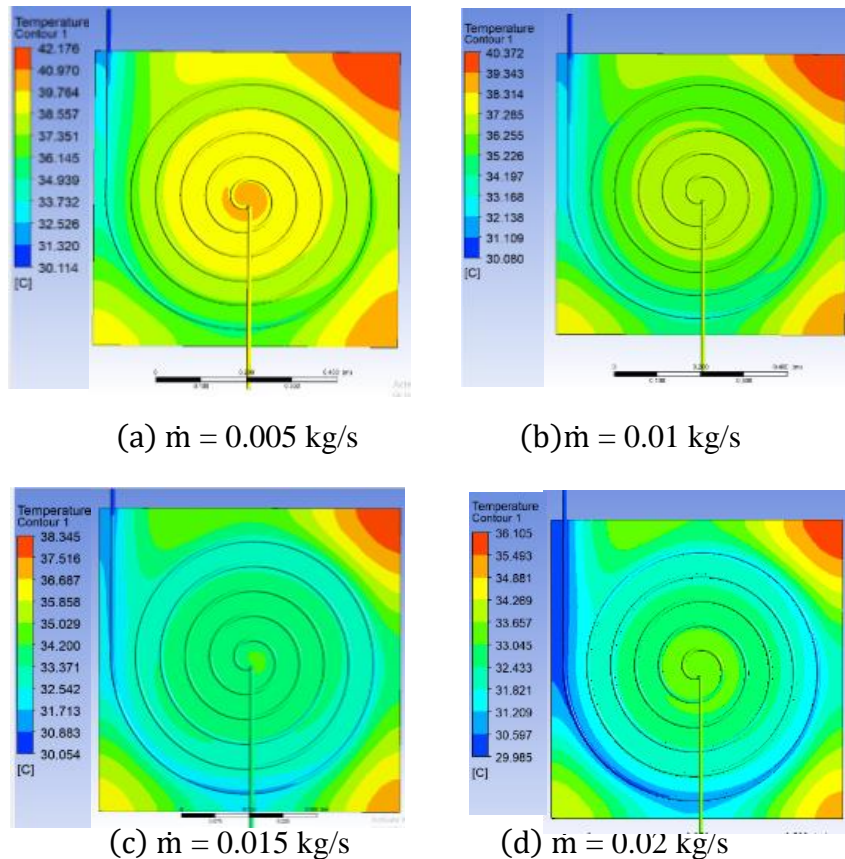


Gambar 8. Perbandingan variasi laju aliran massa terhadap temperatur fluida kerja.

Gambar 8 merupakan gambar hasil simulasi distribusi temperatur fluida kerja (air) berdasarkan variasi laju aliran massa. Pada laju aliran massa terkecil yaitu 0.005 kg/s. temperatur maksimal fluida kerja (air) kolektor surya ialah 41.40 °C ditunjukkan dengan kontur warna merah. Pada laju aliran massa terbesar yaitu 0.02 kg/s. temperatur maksimal permukaan kolektor surya ialah 35.19 °C ditunjukkan dengan kontur warna merah. Penjelasan tersebut dapat diambil kesimpulan bahwa setiap kenaikan laju aliran

massa sebesar 0.005 kg/s maka temperatur maksimal fluida kerja akan mengalami penurunan sebesar 2 °C.

b. *Permukaan kolektor surya*

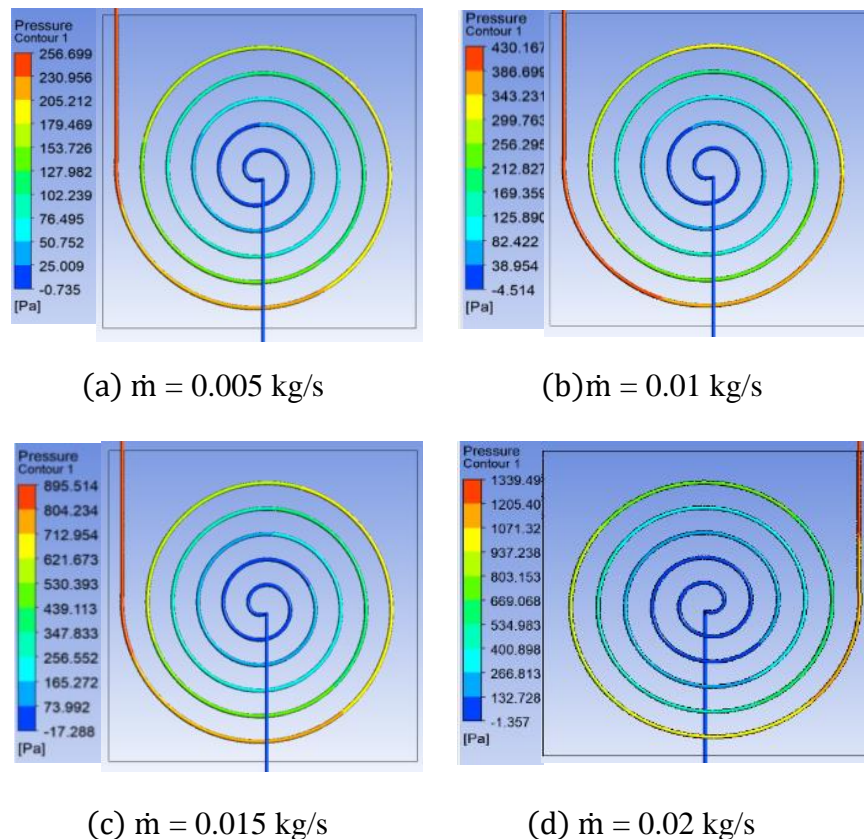


Gambar 9. Perbandingan variasi laju aliran massa terhadap temperatur permukaan pelat

Gambar 9 merupakan gambar hasil simulasi distribusi temperatur pelat kolektor surya berdasarkan variasi laju aliran massa. Pada laju aliran massa terkecil yaitu 0.005 kg/s. temperatur maksimal permukaan kolektor surya ialah 42.17 °C ditunjukkan dengan kontur warna merah. Sedangkan rata-rata temperatur permukaan kolektor surya sebesar 39 °C ditunjukkan dengan kontur warna kuning. Pada laju aliran massa terbesar yaitu 0.02 kg/s. temperatur maksimal permukaan kolektor surya ialah 36.10 °C ditunjukkan dengan kontur warna merah. Sedangkan rata-rata temperatur permukaan kolektor surya sebesar 33 °C ditunjukkan dengan kontur warna biru muda.

2. Analisis pressure drop

Setelah dianalisis termal pada kolektor surya selanjutnya menganalisis pengaruh variasi laju aliran massa fluida kerja terhadap *pressure drop*. Fluida kerja yang digunakan adalah air (H₂O).



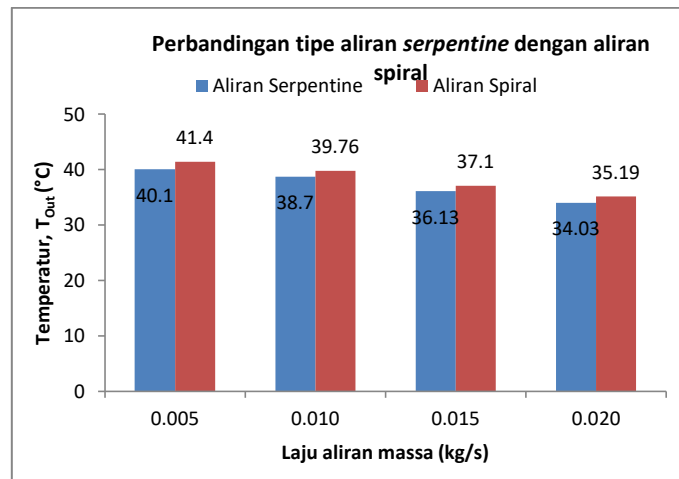
Gambar 10. Perbandingan variasi laju aliran massa terhadap *pressure drop*.

Gambar 10 merupakan gambar hasil simulasi distribusi *pressure drop* berdasarkan variasi laju aliran massa. Pada laju aliran massa terkecil yaitu 0.005 kg/s. *pressure drop* maksimal fluida kerja (air) ialah 256 Pa ditunjukkan dengan kontur warna merah. Pada laju aliran massa terbesar yaitu 0.02 kg/s. *pressure drop* maksimal fluida kerja (air) ialah 1339 Pa ditunjukkan dengan kontur warna merah. Dari data tersebut dapat disimpulkan bahwa semakin besar laju nilai aliran massa yang digunakan maka nilai *pressure drop* akan semakin besar.

C. Perbandingan Unjuk Kerja Kolektor Surya Aliran Spiral dengan *Serpentine*.

Setelah mendapatkan 3 data hasil pengujian kolektor surya aliran spiral yaitu temperatur keluar fluida kerja, temperatur permukaan kolektor surya dan *pressure drop* selanjutnya data-data tersebut dibandingkan dengan data kolektor surya aliran *serpentine* yang telah diuji pada penelitian sebelumnya oleh peneliti (Yonanda, 2019). Kemudian disajikan dalam bentuk grafik perbandingan gambar 11.

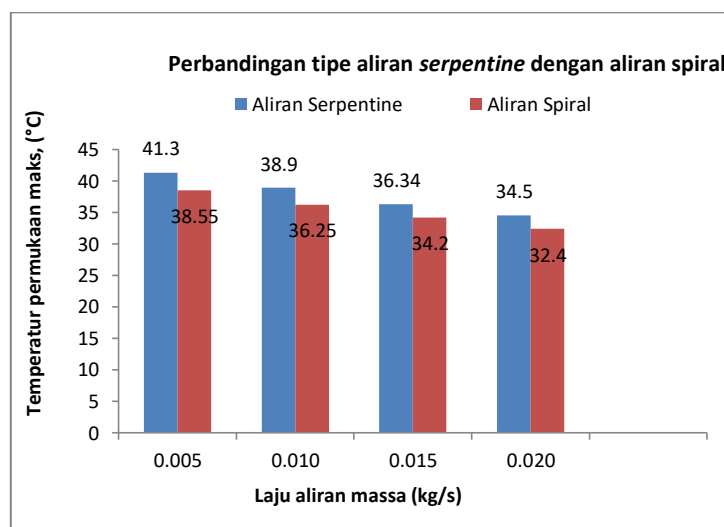
1. Perbandingan temperatur keluar fluida kerja



Gambar 11. Grafik perbandingan tipe aliran *serpentine* dengan aliran spiral terhadap temperatur keluar fluida kerja

Gambar grafik 11 memperlihatkan perbandingan temperatur keluar fluida kerja (T_{out}) berdasarkan penggunaan aliran *serpentine* dengan aliran spiral. Terlihat jelas bahwa perbedaan nilai temperatur keluar fluida kerja (T_{out}) rata-rata antara kolektor surya tipe aliran spiral dengan tipe aliran *serpentine* yaitu 1.3 °C atau 3.14 %. Hal tersebut menjelaskan bahwa penggunaan tipe aliran spiral akan meningkatkan nilai temperatur keluar fluida kerja (T_{out}) sebesar **3.14 %** dibandingkan penggunaan aliran *serpentine*.

2. Perbandingan temperatur permukaan kolektor surya

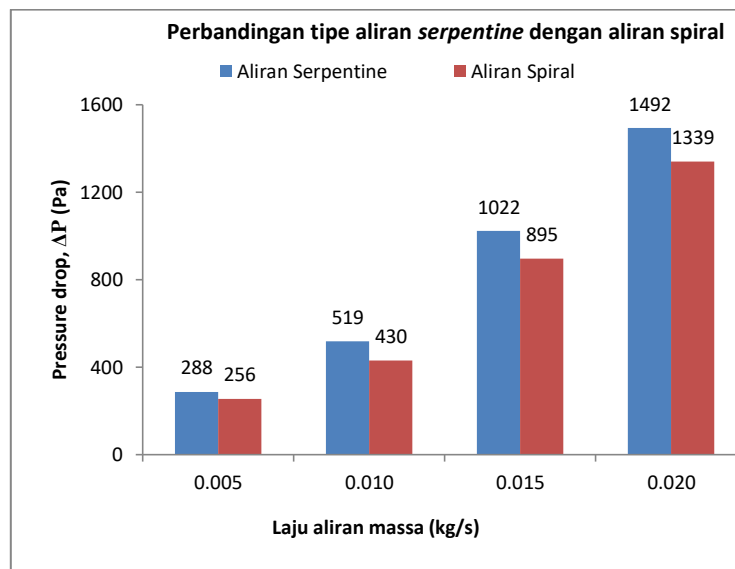


Gambar 12. Grafik perbandingan tipe aliran *serpentine* dengan aliran spiral terhadap temperatur permukaan

Gambar grafik 12 memperlihatkan perbandingan temperatur permukaan kolektor surya berdasarkan penggunaan aliran *serpentine* dengan aliran spiral. Terlihat jelas bahwa adanya perbedaan nilai temperatur maksimum permukaan pada kolektor surya tipe aliran spiral dengan tipe aliran *serpentine*. Pada kondisi laju aliran massa 0.0020 kg/s terjadi perbedaan temperatur permukaan kolektor surya antara tipe aliran *serpentine* dengan aliran spiral sebesar 2.1 °C. Sementara pada kondisi laju aliran massa 0.015 kg/s; 0.010 kg/s dan 0.005 kg/s selisih atau perbedaan temperatur permukaan pelat kolektor surya berturut-turut ialah 2.75 °C; 2.65 °C dan 2.14 °C.

Dari hal tersebut menunjukkan selisih rata-rata temperatur permukaan pelat kolektor surya yaitu 2.41°C. Hal ini dapat disimpulkan bahwa penggunaan tipe aliran spiral akan menurunkan temperatur permukaan kolektor surya sebesar 2.41 °C atau 6.4 % dari penggunaan aliran *serpentine*.

3. Perbandingan *pressure drop*



Gambar 13. Grafik perbandingan tipe aliran *serpentine* dengan aliran spiral terhadap *pressure drop* fluida

Gambar grafik 13 memperlihatkan perbandingan *pressure drop* fluida berdasarkan penggunaan aliran *serpentine* dengan aliran spiral. Terlihat jelas perbedaan nilai *pressure drop* fluida pada kolektor surya tipe aliran spiral dengan tipe aliran *serpentine*. Pada kondisi laju aliran massa 0.0020 kg/s terjadi perbedaan *pressure drop* fluida kolektor surya antara tipe aliran *serpentine* dengan aliran spiral sebesar 32 Pa. Sementara pada kondisi laju aliran massa 0.015 kg/s; 0.010 kg/s dan 0.005 kg/s selisih atau perbedaan *pressure drop* fluida kolektor surya berturut-turut ialah 89 Pa; 127 Pa dan 225 Pa.

Dari hal tersebut menunjukkan selisih rata-rata temperatur *pressure drop* fluida kolektor surya yaitu 118.25 Pa atau 15.08 %. Hal ini dapat disimpulkan bahwa penggunaan tipe aliran spiral akan menurunkan besar *pressure drop* fluida kolektor surya sebesar **15.08 %** dari penggunaan aliran *serpentine*. *Pressure drop* yang rendah maka akan mengurangi pemakaian daya pompa.

SIMPULAN

Dari Penelitian yang telah dilakukan maka dapat disimpulkan antara lain: pada pengujian simulasi kolektor surya pelat datar jenis aliran spiral setiap kenaikan laju aliran massa sebesar 0.005 kg/s maka temperatur maksimal fluida kerja akan mengalami penurunan sebesar 2°C. Hal ini ditunjukkan dengan menggunakan laju aliran massa sebesar 0.02 kg/s didapatkan nilai temperatur maksimal permukaan kolektor yaitu 35.19 °C. Kemudian pada laju aliran massa terbesar yaitu 0.02 kg/s. *pressure drop* maksimal fluida kerja (air) ialah 1339 Pa. Penggunaan jenis aliran spiral pada kolektor surya pelat datar akan meningkatkan nilai temperatur keluar fluida kerja (Tout) sebesar 3.14 % dan menurunkan temperatur permukaan kolektor sebesar 6.4 % serta *pressure drop* fluida sebesar 15.08 %. Pemilihan kolektor surya aliran spiral dapat menghasilkan temperatur fluida lebih tinggi dan *Pressure drop* fluida yang relatif lebih rendah sehingga akan mengurangi pemakaian daya listrik pompa.

SANWACANA

Terimakasih kepada Universitas Lampung yang telah mendanai penelitian ini dalam skema Penelitian Dosen Pemula BLU 2020.

DAFTAR PUSTAKA

- Allan, J., Dehouche, Z., Stankovic, S., & Mauricette, L. (2015). Performance Testing of Thermal and Photovoltaic Thermal Solar Collectors. *Energy Science & Engineering*, 3(4), 310-326. <https://doi.org/10.1002/ese3.75>
- ANSYS Fluent Release 18.1. (2017). "ANSYS Fluent Tutorial Guide R18.1". SAS IP. Inc. All Rights Reserved. www.ansys.com.
- Corrocher, N., & Cappa, E. (2020). The Role of Public Interventions in Inducing Private Climate Finance: An Empirical Analysis of The Solar Energy Sector. *Energy Policy*, 147, 111787. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2020.111787>
- Dong F. Y., Xu, S., Guo, W., Jiang, N R., Han, D. D., He X.Y., Zhang, L., Wang Z.J., Feng, J., Su, W., & Sun, H B. (2020). Solar-Energy Camouflage Coating with Varying Sheet Resistance. *Nano Energy*, 77, 105095. <https://doi.org/10.1016/j.nanoen.2020.105095>
- Duffie, J.A. & W.A. Beckman. (1980). *Solar Engineering of Thermal Processes*. New York: John Wiley and Sons.
- Ismail (2016). Unjuk Kerja Kolektor Surya Pelat Datar Aliran Serpentine Berdasarkan Jenis Elbow dan Jarak Pipa. Tugas Akhir Teknik Mesin .UNILA. Bandar

- Lampung.
- Kalogirou, S. A. (2003). *Solar Energy Engineering. Processes and System*. 2nd Edition. Elsevier Ltd.
- Sandeep. (2016). *Solar Energy Potential and Future Prospects*. The Federal University of Technology. Nigeria.
- Souissa, M. (2009). *Proyeksi Potensi Energi Surya Sebagai Energi Terbarukan. Tugas Akhir Teknik Mesin*. Universitas Pattimura. Ambon.
- Tsvetkov, N. A., Krivoshein, U. O., Tolstykh, A. V., Khutornoi, A. N., & Boldyryev, S. (2020). The Calculation of Solar Energy Used By Hot Water Systems in Permafrost Region: An Experimental Case Study for Yakutia. *Energy*, 210, 118577. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.118577>
- Verma, SK., Sharma, K., Gupta, N K., Soni, P., & Upadhyay, N. (2020). Performance Comparison of Innovative Spiral Shaped Solar Collector Design with Conventional Flat Plate Solar Collector. *Energy*, 194, 116853.
- Wang, C.C., Chi, K. Y., & Chang, C. J. (2000). Heat Transfer and Friction Characteristics of Plain Fin-And-Tube Heat Exchangers, Part II: Correlation. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 43(15), 2693-2700. [https://doi.org/10.1016/S0017-9310\(99\)00333-6](https://doi.org/10.1016/S0017-9310(99)00333-6)
- Yonanda, A. (2018). *Simulasi Unjuk Kerja Termal Dan Pressure Drop Kolektor Surya Pelat Datar Aliran Serpentine Menggunakan Metode CFD*. Universitas Lampung. Bandar Lampung. Lampung.