

Simulasi Unjuk Kerja Kolektor Pelat Datar Dengan Absorber Pipa Spiral

Ahmad Yonanda¹⁾ *, Yuli Krisdiantoro¹⁾, Amrizal¹⁾

1)Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Lampung, Bandar Lampung

Naskah diterima 15 03 2022; direvisi 15 05 2023; disetujui 15 05 2023
doi: <https://doi.org/10.24843/JEM.2022.v15.i01.p03>

Abstrak

Simulasi kolektor surya pelat datar dilakukan untuk mengetahui pengaruh jarak antar pipa absorber berbentuk spiral terhadap unjuk kerja termal dan *pressure drop* kolektor surya pelat datar. Pengujian dilakukan dengan metode CFD. Material pelat dan pipa kolektor adalah tembaga dengan ukuran pelat 760 x 760 mm dan tebal 3 mm, diameter pipa adalah 8 mm, variasi jarak pipa spiral yang dipilih yaitu 25, 50 dan 75 mm. Fluida kerja yang digunakan adalah air dengan temperatur masuk 30°C dan laju aliran massa 0.015 kg/s, pada bagian atas permukaan kolektor diberi *heat flux* sebesar 825 W/m². Simulasi dilakukan dengan kondisi *steady state*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada kolektor spiral jarak susunan pipa absorber 25 mm menghasilkan nilai *pressure drop* terbesar yaitu 3927 Pa dan terendah terjadi pada kolektor spiral jarak susunan pipa absorber 75 mm yaitu sebesar 1603 Pa, temperatur keluar air tertinggi dihasilkan pada kolektor spiral 25 mm yaitu sebesar 35,124°C sementara temperatur keluar air terendah terjadi pada kolektor spiral 75 mm yaitu sebesar 34,824°C. Efisiensi termal tertinggi diperoleh pada kolektor spiral dengan jarak susunan pipa absorber 25 mm yaitu mencapai 86,854%.

Kata kunci: kolektor surya, spiral, jarak pipa absorber, *pressure drop*, termal.

Abstract

Simulation of flat plate solar collectors was carried out to determine the effect of the distance between spiral absorber pipes on thermal performance and pressure drop of flat plate solar collectors. The test was carried out using the CFD method. The plate and collector pipe material is cooper with a plate size of 760 x 760 mm and a thickness 3 mm, the diameter of pipe is 8 mm, the variation of of the distance spial pipe selected is 25, 50 dan 75 mm. the working fluid used is water with an inet temperature of 30°C and a mass flow rate is 0.015 kg/s, at a top of collector surface is given a heat flux of 825 W/m², simulation is carried out with steady state conditions. The results showed that the spiral collector distance of the absorber pipe arrangement 25 mm resulted in the largest pressure drop, that value is 3927 Pa and the lowest occurred in the spiral collector with distance of absorber pipe arrangement 75 mm, which was 1603 Pa, the highest water outlet temperatur is produced at the 25 mm spiral collector which is 35,124°C while the lowest water outlet temperature occurs at the 75 mm spiral collector which is 34,824°C. The highest thermal efficiency is obtained at the spiral collector with a distance of 25 mm absorber pipe arrangement which reaches 86,854%.

Keyword : solar collector, spiral, absorber pipe distance, pressure drop, thermal.

1. Pendahuluan

Energi baru terbarukan merupakan energi yang paling besar potensi pengembangannya. Pengembangan energi baru terbarukan dilakukan untuk mengurangi kebutuhan akan energi fosil yang cadangannya semakin menurun. Di Indonesia sendiri cadangan energi fosil semakin menipis, cadangan batu bara sebesar 37,6 miliar ton dan diperkirakan akan habis dalam 65 tahun mendatang, gas bumi tersisa 77,3 miliar³/ft dan diperkirakan akan habis dalam waktu 22 tahun mendatang, sementara minyak bumi hanya tinggal 3,77 miliar barel dan diperkirakan akan habis hanya dalam waktu 9 tahun mendatang [1].

Energi baru sendiri adalah energi yang dihasilkan dari teknologi baru, baik itu menggunakan sumber energi terbarukan maupun energi fosil, sementara energi terbarukan adalah energi yang berasal dari sumber-sumber yang dapat diperbaharui, seperti tenaga hidro/air, tenaga matahari, tenaga angin maupun dari sumber yang dapat diproduksi secara berkelanjutan. Salah satu energi terbarukan yang memiliki potensi paling besar adalah energi matahari atau energi surya, di Indonesia energi surya memiliki potensi sekitar 4,8 KWh/m² atau setara dengan

112.000 GWp dan energi surya tersebut akan terus tersedia sepanjang waktu [2].

Potensi energi matahari yang besar dapat dimanfaatkan baik gelombang elektromagnetiknya maupun energi panasnya. Gelombang elektromagnetik tersebut dapat dimanfaatkan untuk menghasilkan energi listrik menggunakan panel surya sementara pemanfaatan panas matahari biasa digunakan untuk mengeringkan beberapa produk pertanian atau juga untuk menaikkan temperatur fluida kerja sehingga dapat dimanfaatkan sesuai kebutuhan. Pemanfaatan energi panas matahari untuk menghasilkan air dengan temperatur lebih tinggi tersebut biasa menggunakan kolektor surya. Kolektor surya merupakan alat yang memanfaatkan sistem perpindahan panas untuk menaikkan temperatur air. Terdapat berbagai macam kolektor surya dan yang paling banyak digunakan adalah jenis kolektor surya pelat datar, kolektor surya pelat datar ini merupakan kolektor yang paling mudah untuk dibuat, instalasinya yang cukup sederhana dan juga tidak memerlukan tempat yang luas sehingga kolektor surya pelat datar ini menjadi jenis kolektor surya yang paling banyak digunakan.

Kemampuan kolektor surya untuk meningkatkan temperatur air berbeda-beda sesuai dengan bentuk

absorber, ukuran *absorber* hingga pemilihan material yang tepat. Berdasarkan penelitian [3-5], yang meneliti tentang perbandingan material tembaga dan aluminium sebagai material kolektor surya, hasilnya adalah kolektor surya pelat datar dengan material tembaga menghasilkan efisiensi termal yang lebih baik dibandingkan dengan material aluminium. Kolektor surya pelat datar dengan material tembaga tersebut menghasilkan nilai efisiensi tertinggi sebesar 46,7% sementara kolektor surya dengan material aluminium menghasilkan efisiensi tertinggi hanya sebesar 37,1%.

Berdasarkan penelitian dari [6-7], kolektor surya dengan penampang pipa berbentuk lingkaran menghasilkan nilai efisiensi termal yang lebih tinggi dibanding dengan bentuk penampang yang lain. Pada penelitian tersebut membandingkan penampang pipa berbentuk segitiga, persegi, segienam dan lingkaran. Hasilnya adalah penampang pipa berbentuk lingkaran menghasilkan efisiensi termal 38,4%, 11,2%, dan 6,6% lebih baik daripada bentuk segitiga, persegi dan segienam.

Berdasarkan penelitian dari [8], yang melakukan penelitian dengan simulasi CFD tentang kolektor surya pelat datar menggunakan pipa sebagai tempat aliran fluida kerja, simulasi dipilih untuk mengurangi biaya pembuatan variasi kolektor. Dari penelitian tersebut terdapat dua bentuk pipa yang dibahas yaitu bentuk pipa *serpentine* dan spiral. Hasil dari penelitian tersebut adalah penggunaan jenis aliran spiral pada kolektor surya pelat datar akan meningkatkan nilai temperatur keluar fluida kerja (T_{out}) sebesar 3,14 %, temperatur permukaan kolektor sebesar 4,03 % dan menurunkan nilai *pressure drop* fluida sebesar 15,08 % dari *pressure drop* pada kolektor dengan bentuk pipa *serpentine*. Sehingga bentuk pipa yang paling efektif adalah bentuk spiral, aliran spiral memiliki kontak perpindahan panas yang cukup baik dibandingkan dengan jenis aliran *serpentine*.

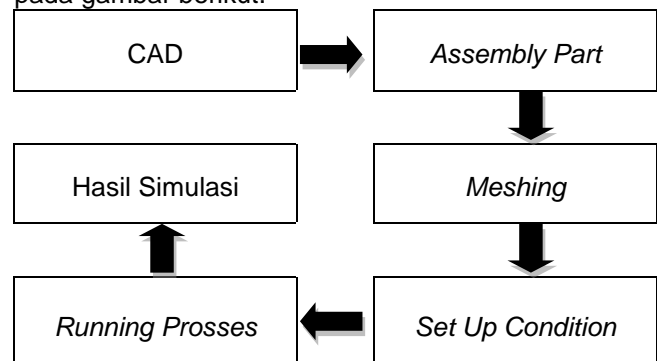
Kolektor surya dapat memberikan dua manfaat sekaligus apabila digabungkan dengan modul surya atau *photovoltaic*, yaitu meningkatkan temperatur keluar fluida kerja dan juga dapat menurunkan temperatur permukaan modul surya atau *photovoltaic*. Hal ini dikarenakan cairan atau air yang lewat pada modul pemanas surya bertindak sebagai pendingin atau penyerap panas dari modul surya sehingga

menurunkan temperatur dari modul surya tersebut, sistem tersebut biasa disebut dengan *photovoltaic thermal* atau *PVT*. Dengan turunnya temperatur modul surya dapat meningkatkan daya listrik yang dihasilkan oleh modul surya atau PV tersebut [9].

Penelitian terhadap pemanfaatan energi matahari sangat dibutuhkan dalam rangka pengembangan energi baru dan terbarukan. Karena potensi terbesar dari energi terbarukan adalah dari energi surya, sementara jumlah permintaan kolektor surya *hybrid PV/T* diprediksi akan terus mengalami peningkatan. Salah satu kajian yang menarik untuk diteliti adalah simulasi unjuk kerja termal dan *pressure drop* kolektor surya pelat datar menggunakan susunan pipa *absorber* berbentuk spiral.

2. Metode Penelitian

Secara umum tahapan dalam penelitian ini digambarkan pada alur penelitian yang ditampilkan pada gambar berikut.



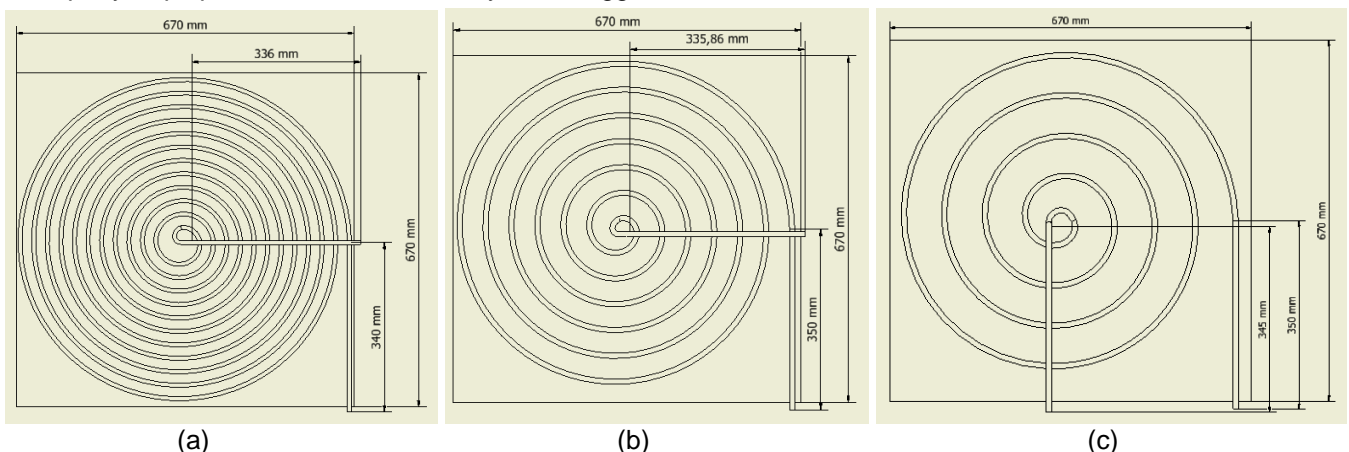
Gambar 1. Alur penelitian

2.1 CAD atau Perancangan Geometri Kolektor Surya

Pada penelitian ini dilakukan dengan beberapa tahap, prosedur perancangan geometri kolektor surya pelat datar menggunakan *software Autodesk Inventor*. Panjang pipa kolektor spiral dan bentuk geometri yang digunakan adalah sebagai berikut:

Tabel 1. Panjang pipa spiral

25	50	75
13800 mm	7676,42 mm	6335,04mm



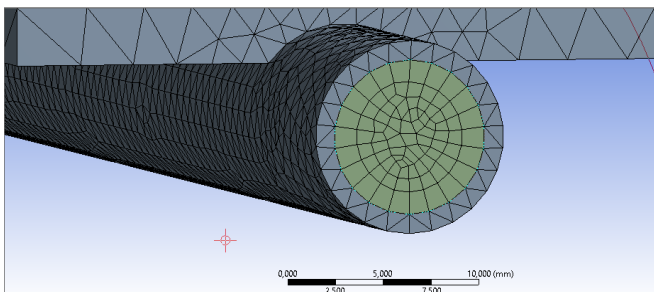
Gambar 2. Desain kolektor (a) jarak susunan pipa 25 mm, (b) jarak susunan pipa 50 mm, (c) jarak susunan pipa 75 mm

2.2 Susunan Geometri

Proses selanjutnya setelah geometri benda kerja dibuat adalah proses *assembly*. Proses ini merupakan proses penggabungan antara geometri pv, plat *absorber* dan pipa tembaga serta pemberian domain air sebagai fluida kerja yang digunakan, proses desain geometri dan *assembly* dilakukan dengan *software* desain *autodesk inventor*. Untuk dapat dilakukan proses simulasi maka file *assembly* dari *inventor* harus diubah menjadi jenis file “iges” agar dapat diimport kedalam *software* CFD.

2.3 Meshing

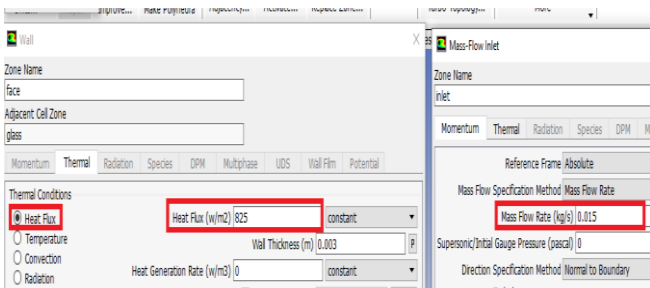
Meshing pada benda kerja dilakukan dengan jenis *mesh* yang berbeda, pada plat *absorber* dan pipa dipilih jenis tetrahedral karena pada plat *absorber* terdapat bentuk cekungan sebagai permukaan yang berkontak dengan pipa sehingga akan sulit apabila menggunakan jenis *mesh hexahedral*, sementara pada domain air dipilih jenis *meshing swipe* untuk menghindari jumlah *mesh* yang terlalu besar.



Gambar 3. Meshing kolektor surya

2.4 Setup Condition

Setelah proses *meshing* selesai selanjutnya adalah proses *setup condition*. Pada tahap ini menentukan simulasi berjalan secara *steady* dan dilakukan pemilihan model simulasi yaitu k-epsilon. Selain itu melakukan pemilihan material kolektor yaitu tembaga, fluida yang digunakan adalah air dan kondisi fluida masuk yaitu laju aliran massa 0.015 kg/s dengan temperatur masuk 30°C serta pada permukaan kolektor menerima *heat flux* sebesar 825 W/m².



Gambar 4. Setup boundary conditions

2.5 Run Calculation

Setelah semua *setup* selesai selanjutnya adalah menentukan jumlah iterasi yang digunakan lalu proses *running* dimulai. Proses *running* ini adalah proses perhitungan matematis oleh komputer, perhitungan matematis tersebut berdasarkan persamaan-persamaan berikut [10]:

2.5.1 persamaan kontinuitas

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho w)}{\partial z} = 0 \tag{1}$$

Dimana : ρ = Densitas (kg/m³)
 U = Komponen kecepatan arah sumbu X
 V = Komponen kecepatan arah sumbu Y
 W = Komponen kecepatan arah sumbu Z
 T = Waktu (s)
 X = Koordinat sumbu X
 Y = Koordinat sumbu Y
 Z = Koordinat sumbu Z

2.5.2 Persamaan momentum

$$\frac{\partial(\rho u)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u^2)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho uv)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho uw)}{\partial z} = -\frac{\partial p}{\partial y} + \frac{1}{Re_r} \left(\frac{\partial \tau_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial z} \right) \tag{2}$$

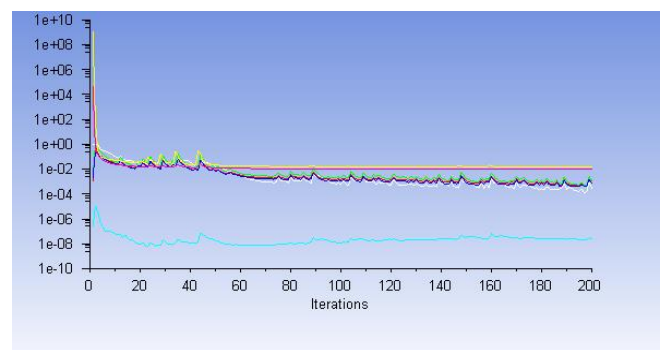
Dimana : Re_r = Bilangan reynolds

2.5.3 Persamaan energi

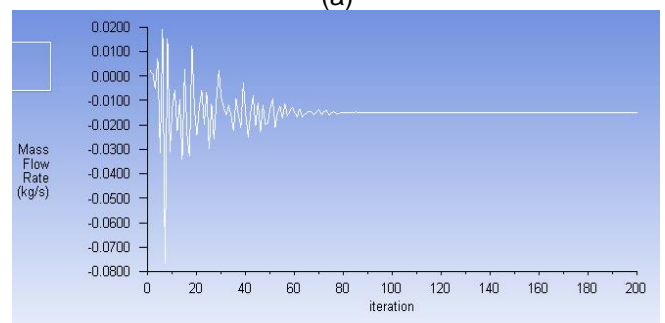
$$\frac{\partial(E_T)}{\partial t} + \frac{\partial(uE_T)}{\partial x} + \frac{\partial(vE_T)}{\partial y} + \frac{\partial(wE_T)}{\partial z} : \tag{9}$$

Dimana : E_t = Energi total (j/s)
 P = Tekanan (pa)
 q = *Heat flux* (W/m²)
 Pr = Bilangan prandtl

Proses iterasi perhitungan tersebut ditampilkan dalam bentuk grafik residual serta grafik tambahan yaitu grafik laju aliran masa terhadap titik *outlet*, grafik ini ditampilkan untuk lebih meyakinkan bahwa proses simulasi yang dilakukan sudah konvergen atau belum.



(a)



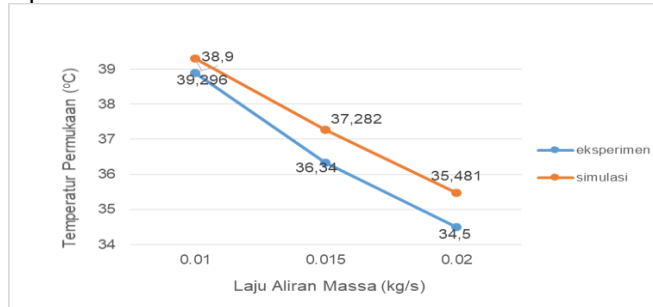
(b)

Gambar 5. Grafik (a) residual (b) laju aliran massa

3. Hasil dan Pembahasan

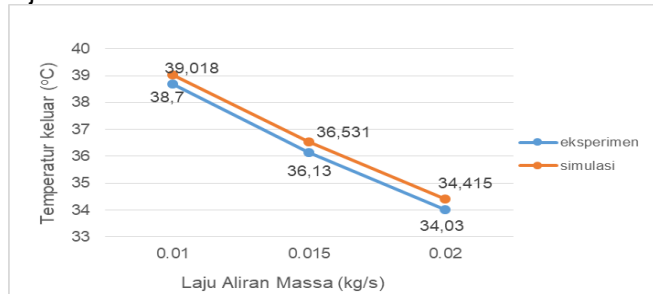
3.1 Validasi

Penelitian kolektor surya yang telah dilakukan oleh [11], menggunakan kolektor 800 mm x 562,5 mm dan pipa yang disusun paralel dengan jarak 80 mm menggunakan tembaga sebagai material kolektor termal. Validasi yang dilakukan yaitu dengan membandingkan hasil temperatur permukaan panel, temperatur keluar air, dan penurunan tekanan antara hasil eksperimen dan simulasi. Berikut hasil yang diperoleh :



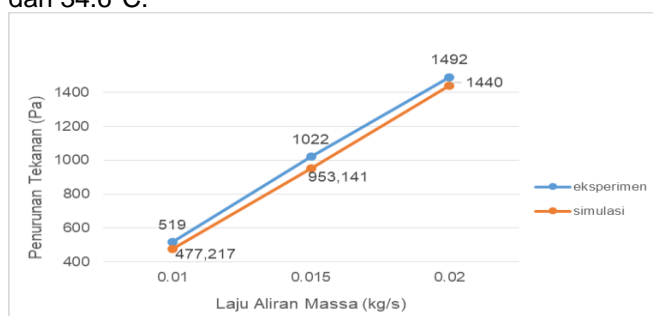
Gambar 6. Grafik temperatur permukaan eksperimen dan simulasi

Dari gambar 6 dapat dilihat nilai temperatur permukaan hasil eksperimen dengan variasi laju aliran massa 0.01 kg/s, 0.015 kg/s, dan 0.02 kg/s secara berturut-turut adalah 38.9 °C, 36.34 °C, dan 34.9°C sementara nilai temperatur permukaan hasil simulasi secara berturut-turut adalah 38.2 °C, 36 °C, dan 34.5°C. Nilai temperatur permukaan antara eksperimen dan simulasi menghasilkan tren yang sama yaitu cenderung menurun dengan meningkatnya laju aliran massa.



Gambar 7. Grafik temperatur keluar eksperimen dan simulasi

Dari grafik tersebut dapat dilihat bahwa nilai temperatur keluar hasil eksperimen dengan variasi laju aliran massa 0.01 kg/s, 0.015 kg/s, dan 0.02 kg/s secara berturut-turut adalah 38.7 °C, 36.13 °C, dan 34.03°C sementara nilai temperatur permukaan hasil simulasi secara berturut-turut adalah 39 °C, 35.9 °C, dan 34.6°C.

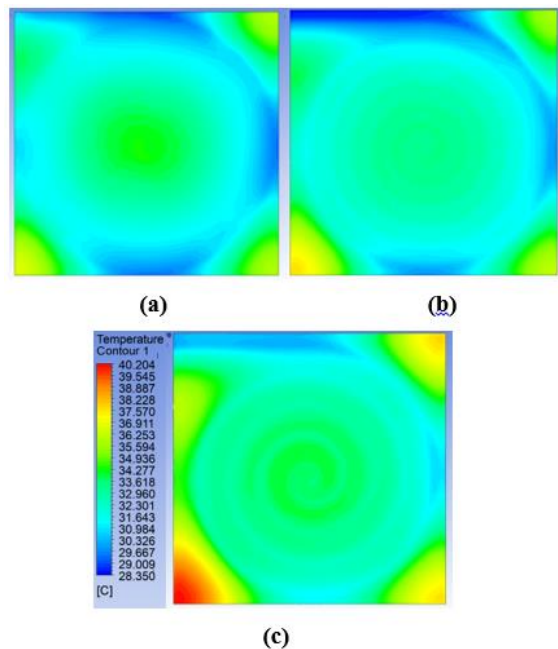


Gambar 8. Grafik penurunan tekanan terhadap laju aliran massa

Grafik diatas menampilkan nilai *pressure drop* yang terjadi terhadap perubahan laju aliran massa dari hasil eksperimen dan hail simulasi. Garis warna biru mewakili nilai *pressure drop* hasil eksperimen dan garis warna oranye mewakili nilai *pressure drop* hasil dari simulasi. Dapat dilihat pada grafik 7 diatas bahwa nilai *pressure drop* antara hasil eksperimen dengan hasil simulasi menghasilkan tren yang sama. Dari penjelasan ketiga grafik diatas dimana hasil simulasi memiliki kedekatan dan menghasilkan tren yang sama maka simulasi CFD ini mampu memperlihatkan hasil simulasi yang cukup baik sehingga simulasi mampu untuk melakukan pengembangan penelitian.

3.2 Hasil Penelitian

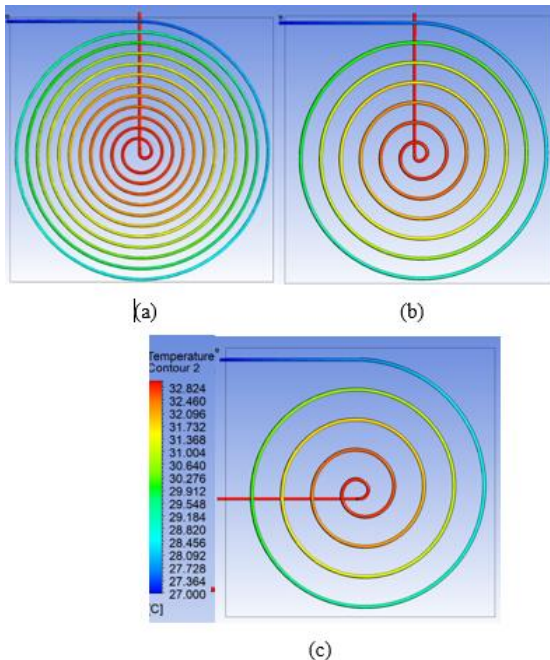
3.2.1 Temperatur Rata-Rata Permukaan Kolektor



Gambar 9. Kontur temperatur permukaan (a) kolektor absorber spiral jarak 25mm, (b) kolektor absorber spiral jarak 50mm, (c) kolektor absorber spiral jarak 75mm

Pada gambar 9 dapat dilihat kontur temperatur permukaan ketiga variasi jarak susunan pipa *absorber* dengan temperatur masuk air 30°C laju aliran massa 0,015 kg/s dan *heat flux* 825 W/m². Pada jarak susunan pipa absorber 25 mm menghasilkan temperatur rata-rata 35,309°C. Pada kolektor spiral jarak 50 mm menghasilkan temperatur rata-rata 35,355°C. Sementara pada geometri kolektor absorber spiral jarak 75 mm, permukaan kolektor didominasi oleh warna hijau muda hingga oranye dan terdapat sudut yang mencapai temperatur hingga 42,49°C, dengan begitu maka pada geometri kolektor *absorber* spiral jarak 75 mm ini menghasilkan temperatur yang lebih tinggi yaitu mencapai temperatur rata-rata 36,534°C. Hal tersebut terjadi karena pada jarak susunan pipa absorber 75 mm menghasilkan panjang pipa dan kontak perpindahan panas yang paling kecil dibanding dengan jarak susunan pipa 50 mm dan 25 mm, hal tersebut menyebabkan laju perpindahan panas yang terjadi juga rendah sehingga penurunan temperatur kolektor lebih rendah dibanding dengan jarak susunan pipa 50 mm dan 25 mm.

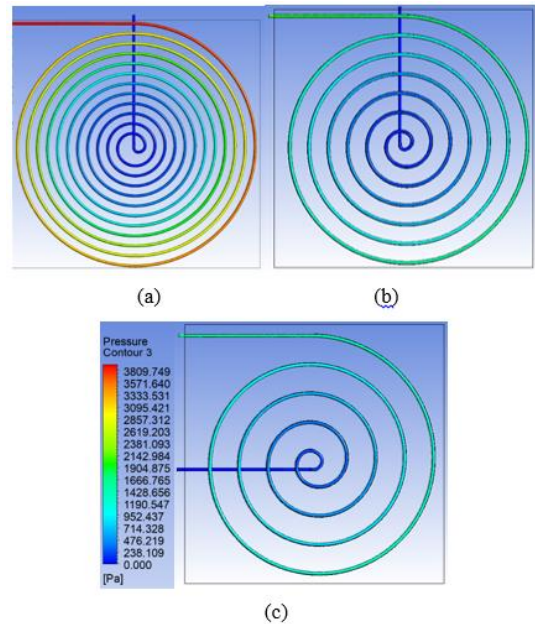
3.2.2 Temperatur Keluar Fluida



Gambar 10. Kontur temperatur air kolektor (a) 25 mm (b) 50 mm dan (c) 75 mm

Pada gambar 10 menggambarkan kontur temperatur air dalam pipa spiral, temperatur terendah digambarkan dengan warna biru dan sampai kontur warna merah yang menggambarkan temperatur tertinggi. Dari gambar tersebut terlihat nilai temperatur keluar air antara kolektor spiral 25 mm, 50 mm dan 75 mm tidak terdapat perbedaan temperatur yang signifikan. Pengaruh perubahan jarak pipa spiral terhadap nilai temperatur keluar tidak terlalu signifikan. Terlihat bahwa dengan mengubah jarak spiral pipa dari 75 mm menjadi 50 mm meningkatkan temperatur keluar air sebesar $0,26^{\circ}\text{C}$, begitu juga dengan jarak 50 mm menjadi 25 mm hanya meningkatkan temperatur keluar air sebesar $0,04^{\circ}\text{C}$ dari $35,084^{\circ}\text{C}$ menjadi $35,124^{\circ}\text{C}$.

3.2.3 Pressure Drop

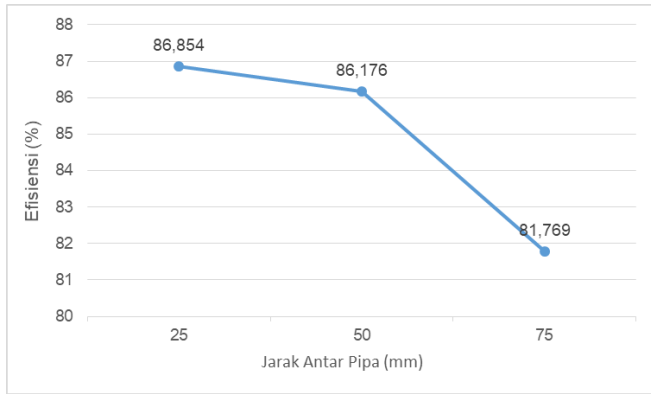


Gambar 11. Kontur tekanan air

Pada gambar 11 diatas menampilkan kontur warna yang menggambarkan nilai *pressure drop* pada aliran air dalam pipa spiral. Tekanan terendah digambarkan oleh warna biru dan sampai tekanan tertinggi digambarkan oleh warna merah, dapat dilihat pada kolektor spiral 75 mm dan 50 mm memiliki nilai *pressure drop* yang hampir serupa yaitu memiliki kontur tekanan berwarna biru hingga biru muda yang berarti memiliki nilai *pressure drop* 0 hingga 2164 Pa. Tekanan tertinggi kolektor spiral 75 mm adalah 1603 Pa sementara pada kolektor spiral 50 mm menghasilkan tekanan tertinggi sebesar 2164 Pa. Lain halnya dengan kolektor spiral 25 mm, pada kolektor ini terlihat kontur warna tekanan yang jauh berbeda, pada kolektor 25 mm ini kontur tekanan berwarna biru hingga merah yang artinya menghasilkan nilai *pressure drop* beragam dan yang tertinggi yaitu sebesar 3927 Pa. Hal tersebut terjadi karena memang panjang pipa spiral pada kolektor 25 mm merupakan yang terpanjang dibanding kedua kolektor lain, panjang pipa pada kolektor spiral 25 mm ini adalah 13800 mm. Semakin panjang pipa *absorber* maka tegangan geser yang ditimbulkan untuk sampai titik keluar akan semakin besar sehingga tekanan fluida yang diperlukan juga semakin besar.

3.2.4 Efisiensi Termal Kolektor

Meski nilai temperatur permukaan kolektor spiral 25 mm menghasilkan nilai temperatur permukaan yang paling rendah tetapi dengan jarak susunan pipa *absorber* tersebut akan membutuhkan jumlah pipa yang jauh lebih banyak dibanding dua kolektor lain dan juga dari segi peningkatan temperatur keluar air tidak terlihat perbedaan yang signifikan. Oleh karena itu perlu dilihat bagaimana efisiensi dari ketiga kolektor tersebut.



Gambar 12. Grafik efisiensi termal kolektor surya

Gambar 12 diatas menggambarkan bagaimana perubahan efisiensi dari setiap kolektor spiral. Dapat dilihat dari grafik tersebut bahwa nilai efisiensi kolektor spiral 25 mm adalah yang tertinggi diantara kolektor lain, efisiensi tertinggi kolektor 25mm tersebut adalah 86,854%. Hal tersebut terjadi karena pada kolektor spiral susunan pipa absorber 25 mm merupakan kolektor dengan panjang pipa yang terbesar yang menyebabkan area kontak perpindahan panas juga yang paling besar sehingga mampu menghasilkan temperatur keluar air yang paling tinggi. Pada kolektor 50 mm menghasilkan efisiensi mendekati efisiensi kolektor spiral 25 mm yang hanya memiliki selisih 0,678% lebih rendah dari kolektor spiral 25 mm. Sementara pada kolektor spiral 75 mm menghasilkan efisiensi termal yang paling rendah, efisiensi termal kolektor spiral 75 mm ini hanya sebesar 81,769%. Efisiensi pada kolektor spiral jarak susunan pipa 75 mm menghasilkan nilai yang terendah dikarenakan jumlah pipa yang digunakan lebih sedikit dibanding dengan kolektor 50 mm maupun 25 mm yaitu hanya sebesar 6335,04 mm sehingga hanya mampu menghasilkan efisiensi termal maksimal sebesar 81,769%.

4. Simpulan

Simulasi CFD ini menghasilkan beberapa data penelitian yang kemudian digunakan untuk menganalisa unjuk kerja termal dan *pressure drop* dari kolektor. Berikut kesimpulan yang dapat diambil dari hasil penelitian ini:

1. Simulasi CFD menghasilkan tren yang sama dengan hasil eksperimen sehingga hasil yang didapatkan dapat dikatakan telah valid.
2. Temperatur permukaan kolektor surya pelat datar susunan pipa absorber spiral dengan jarak 25 mm adalah 35,309°C. Pada jarak absorber 50 mm menghasilkan temperatur permukaan kolektor sebesar 35,355°C dan pada jarak absorber 75 mm menghasilkan temperatur permukaan kolektor sebesar 36,354°C.
3. Temperatur keluar air tertinggi dihasilkan pada kolektor spiral 25 mm yaitu sebesar 35,124°C sementara temperatur keluar air terendah terjadi pada kolektor spiral 75 mm yaitu sebesar 34,824°C.
4. *Pressure drop* tertinggi terjadi pada kolektor spiral 25 mm yaitu sebesar 3927 Pa dan terendah pada kolektor spiral 75 mm yaitu sebesar 1603 Pa.


Ucapan Terimakasih

Ucapan terima kasih disampaikan kepada berbagai pihak yang telah memberikan kontribusi dalam penyelesaian artikel ini. Penelitian ini dapat terwujud melalui dana hibah DIPA FT Universitas Lampung untuk Penelitian Dosen Pemula Universitas Lampung tahun 2021.

Daftar Pustaka

- [1] Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral "Transisi Energi Mutlak Diperlukan". <https://ebtke.esdm.go.id/post/2020/10/22/2667/menteri.arifin.transisi.energi.mutlak.diperlukan?la>. Diakses pada 24 Januari 2021.
- [2] Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral "Matahari Untuk PLTS di Indonesia", 19 Juni 2012. <https://www.esdm.go.id/id/media-center/arsip-berita/matahari-untuk-plts-di-indonesia>. Diakses pada 24 Januari 2021.
- [3] Amrizal., Amrul., Yonanda, Ahmad., Zulfa. 2017. "Comparison Study of Solar Flat Plate Collector With Two Different Absorber Material". Bandar Lampung : Lampung.
- [4] Sarsetiyanto, Joko. 2012. Rancang Bangun Pemanas Air Tenaga Surya Dengan Menggunakan Kolektor Surya Plat Datar. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh November.
- [5] Zahra, Anbar Trisyawati Nur., Tri Ayodha Ajiwiguna., M, Randlan Kirom. 2019. Studi Efisiensi Kolektor Termal Surya Jenis Pelat Datar Dengan Menggunakan Evaporator. Universitas Telkom.
- [6] Ekramian, E. Etemand., Hahshenasfard. 2014. "Numerical Analysis of Heat Transfer Performance of Flat Plate Solar Collectors". Isfahan : Isfahan University of Technology.
- [7] Simorangkir, Antonius. 2009. Pemanas Air Energi Surya Menggunakan Kolektor Pelat Datar Dengan Diameter Pipa 3/4" dan 5/8". Yogyakarta: Universitas Sanata Dharma.
- [8] Yonanda, A., Amrizal., Hadi Prayitno. 2021."Karakteristik Kolektor Surya Hybrid PV/T Pelat Datar Aliran Spiral Dan Serpentine Menggunakan Metode Simulasi CFD". Open Science and Technology : Vol. 01 No. 01, April 2021 (129-142).
- [9] Krismadinata., Muhammad Rahman Jamal., Arwizet., Remon Lapis., Syahril. 2017. "Komparasi Karakteristik Listrik Fotovoltaik Surya Dengan Fotovoltaik Pemanas Surya". Padang : Universitas Negeri Padang.
- [10] Cengel, A., dan Michael A. 2002. "Thermodynamics An Engineering Approach". New York : McGraw-Hill Education.
- [11] Ismail. 2016. "Unjuk Kerja Kolektor Surya Pelat Datar Aliran Serpentine Berdasarkan Jarak Pipa

dan Jenis Elbow”. Bandar Lampung : Universitas Lampung.

	<p>Ahmad Yonanda menyelesaikan pendidikan S1 Teknik Mesin di Universitas Universitas Lampung pada tahun 2015. Pendidikan magister Teknik Mesin diselesaikan di Universitas Lampung pada tahun 2018 dengan area riset tentang SOLAR ENERGY SYSTEM.</p>
<p>Saat ini ia bekerja sebagai dosen di Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung. Bidang penelitian utama yang digeluti adalah kolektor surya hybrid PV/T, dan CFD.</p>	