

STUDI SIMULASI NUMERIK PENGARUH PENAMBAHAN *FINS* SETENGAH SILINDER DISUSUN SECARA *STAGGERED* TERHADAP KINERJA KOLEKTOR SURYA PEMANAS UDARA DENGAN PLAT PENYERAP *V-CORRUGATED*

Sulaiman Ali¹⁾ dan Djatmiko Ichsani²⁾

¹⁾Jurusan Teknik Mesin Universitas Teuku Umar, Meulaboh Aceh Barat

²⁾Jurusan Teknik Mesin Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya

e-mail: ¹⁾teungkusulaiman@gmail.com, ²⁾djatkiko@me.its.ac.id

Abstract: *The use of solar energy by using solar collector has been extensively researched to optimize existing solar energy source, one of the methods to utilize solar energy is by using solar collector and has been widely utilized by humans in the drying process. To create a solar collector with optimum performance the thermal efficiency needs to be increased, as for increasing the thermal efficiency of solar collector one by extending the absorption field and increasing the convection heat transfer coefficient by creating a turbulent flow inside the solar collector duct, the flow turbulence can be achieved by Provides obstacle and fins disturbance to the flow direction of the working fluid under the hot absorber plate. This research was conducted with 3D Steady flow numerical simulation with turbulence viscos k-omega SST. The objective of this research is to know the optimum diameter and spacing of fins variation with 6mm, 8mm, and 10mm fins diameter, and variation of fins distance to obstacle 0,25L; 0.5L and 0.75L. The result of numerical simulation optimum fins is determined by the smallest ratio of $\Delta P/\Delta T$ and this research continued to the experiment. The solar collector used in this study is a solar collector using a v-corrugated absorber plate with triangular obstacle and half cylindrical fins arranged staggered inside a solar collector duct. The results obtained from this research is, the most optimum half cylinder fins are 6 mm fins with a fins distance to obstacle 0.75L.*

Keywords: *absorber, efficiency, fins, solar collector, obstacle, v-corrugated.*

PENDAHULUAN

Kebutuhan energi di dunia ini semakin meningkat, peningkatan kebutuhan energi tersebut sejalan dengan meningkatnya laju pertumbuhan penduduk, ekonomi dan perkembangan teknologi di sektor industri. Ketergantungan Indonesia terhadap bahan bakar fosil sangat besar dan hal ini terlihat dari setiap aktivitas masyarakat Indonesia sehari-hari yang tidak terlepas dari pemakaian bahan bakar seperti untuk penerangan, memasak dan transportasi. Bahan bakar fosil merupakan sumber daya alam yang tidak dapat diperbaharui dan semakin hari semakin berkurang [1]. Sampai saat ini Indonesia masih tergantung terhadap energi fosil terutama minyak bumi sebesar 96% (minyak bumi 48%, gas 18% dan batu bara sebesar 30%) dari hasil total konsumsi energi di Indonesia. Seiring dengan kebutuhan energi yang meningkat, cadangan energi fosil yang tersisa semakin menipis, salah satu sumber energi alternatif yang dapat dipergunakan manusia untuk menjadi solusi dari krisis energi saat ini yaitu energi surya/energi matahari. Energi surya ini dapat dikonversikan menjadi energi panas yang berguna, biasanya digunakan untuk menghasilkan energi listrik (*solar cell*) atau untuk menghasilkan energi panas yaitu dengan penggunaan solar kolektor, dimana energi panas tersebut dapat digunakan untuk pemanas air, udara dan material lain yang memerlukan pemanasan atau pengeringan. Banyak upaya untuk meningkatkan efisiensi kolektor surya diantaranya yaitu menggunakan plat penyerap yang dicat hitam atau diberi lapisan yang mempunyai *absorptance* tinggi dan *emittance* rendah [2]. Untuk meningkatkan koefisien konveksi antara udara dengan plat penyerap adalah dengan mempersempit saluran sehingga aliran menjadi turbulen, mengganti plat penyerap yang umumnya adalah plat datar dengan plat bergelombang *v-corrugated absorber* [3,4]. Meningkatkan koefisien perpindahan panas dari plat ke udara dapat juga dilakukan dengan menambahkan *fins* atau *baffles* atau *obstacle* [5] dalam penelitiannya meneliti tentang *obstacle* yang berbentuk *pin fins* dengan beberapa tinggi dan susunan, maka hasil yang didapat adalah semakin rapat dan tinggi *fins*, maka efisiensi semakin tinggi. Bekele A et al [6] dalam penelitiannya meneliti *obstacle* berbentuk segitiga yang dipasang diatas plat penyerap dengan beberapa susunan menemukan bahwa semakin rapat dan tinggi *obstacle* segitiga semakin

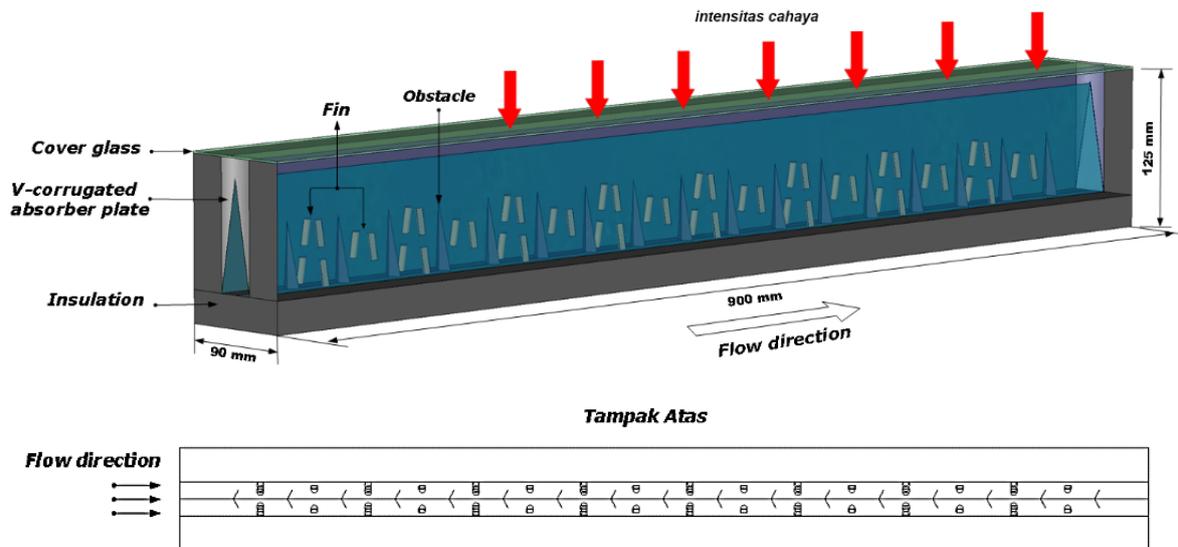
tinggi efisiensi kolektor. Ho.C. D et al [7] meneliti *fins* yang dipasang diatas dan dibawah plat penyerap dengan diberi aliran *recycle*. Sedangkan Kulkarni et al [8] melakukan penelitian geometri *obstacle* yang paling optimum dengan menggunakan *Response Surface Approximation (RSA)* dan *Kriging Models*, adapun variabel dari geometri *obstacle* adalah ratio tinggi *obstacle* terhadap ketinggian saluran udara, ratio jarak transversal antar *obstacle* terhadap lebar *obstacle* dan sudut *obstacle* yang dikenai udara dan hasil yang diperoleh dari analisa numerik dibandingkan dengan data hasil percobaan, tujuan teknik optimalisasi menggunakan numerik merupakan cara yang efisien untuk meminimalisir perhitungan dan biaya percobaan ketika mendesain *solar air heater* [9]. Penelitian pada kolektor udara dengan *fins* yang panjang dan *fins* kecil-kecil dengan total luasan yang sama dan menemukan bahwa *fins* yang kecil-kecil menghasilkan efisiensi lebih tinggi. Randall et al [10] meneliti permukaan gelombang bentuk V dan mengkorelasikan data dalam bilangan *Reynolds* dan *Nusselt*. Karim et al [11] melakukan penelitian dengan cara langsung untuk kerja maupun secara teoritis solar kolektor pemanas udara dengan tiga cara plat *absorber* yang berbeda yaitu *absorber* plat, *absorber* plat datar dengan *fins* dan *v-groove (v-corrugated) absorber*. Efisiensi kolektor surya dengan *v-corrugated absorber* mempunyai nilai 10-15% lebih tinggi dari efisiensi kolektor surya dengan *absorber* plat datar yang mempunyai nilai 5-9%. Kolektor surya dengan *absorber* plat datar mempunyai efisiensi yang terkecil dibandingkan dengan kolektor surya *absorber* plat datar dengan *fins* maupun kolektor surya dengan *v-corrugated absorber*.

Ekadewi et al [12], menyatakan bahwa kolektor surya tipe *v-corrugated absorber plate* menggunakan *obstacle* yang ditebuk secara vertikal dapat meningkatkan kinerja. Pada penelitiannya Ekadewi et al [12] menggunakan plat penyerap berbentuk *v-corrugated* dimana dibawah plat penyerap didalam laluan udara ditambahkan *obstacle* berbentuk *delta*, upaya peningkatan koefisien konveksi dengan meningkatkan turbulensi aliran dalam plat penyerap adalah gabungan plat *v-corrugated absorber* dengan ditambahkan *obstacle* yang ditebuk vertikal dengan sudut 30°. Hasil yang didapatkan bahwa sudut tekuk optimal pada sudut 30° memberikan rasio penurunan tekanan dibanding efisiensi yang paling tinggi ($\Delta P/\Delta E_{eff}$). Penggunaan *v-corrugated absorber plate* dan penambahan *obstacle* terbukti dapat meningkatkan koefisien perpindahan panas kolektor surya. Sahiti et al [13] melakukan penelitian tentang perbandingan performansi berbagai luasan *pin fins* yang disusun secara *duct* dengan jenis *pin fins* dipilih karena memiliki nilai koefisien perpindahan panas lebih besar dibandingkan bentuk lainnya, penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh bentuk modifikasi *pin fins* terhadap *pressure drop* dan kemampuan memindahkan panas, ada enam luasan *pin fin* yang diuji secara numerik diantaranya secara *Naca*, *dropfoam*, *lancet*, *elliptic*, *circular* dan *square*, dua bagian susunan *pin fins* yang dilakukan yaitu *staggered* dan *inline*. Parameter untuk geometri bentuk *pin fins* digunakan FCC (*Frist Comparastion Criteria*) yaitu diameter hidrolis, *coverage ratio* (ratio dari luasa *pin fins* dan luas *bare plate*) dan panjang *pin* konstan, hasil yang diperoleh dari penelitian ini didapatkan performansi *pin fins* dengan membandingkan nilai perpindahan panas perluasan *base* (q_b) dan power input perluasan *base* (\dot{e}_b) dengan panjang *pin fins* yang sama, *power input* perluasan *base* menunjukkan besar volume *flow rate* yang masuk.

Masalah terbesar yang dihadapi kolektor surya pemanas udara yaitu rendahnya koefisien perpindahan kalor konveksi antara permukaan plat penyerap dengan udara yang mengalir dan menjadi masalah pada kolektor surya pemanas udara. Fenomena ini telah mendorong banyak penelitian berupa untuk meningkatkan efisiensi kolektor surya pemanas udara, kelebihan dari udara adalah udara lebih ringan dan tidak bersifat korosif jika dibandingkan dengan air. Udara dapat digunakan secara langsung untuk proses pengeringan, misalnya pengeringan hasil pertanian, ikan, dan lain-lain.

Dari beberapa penelitian di atas, muncul permasalahan yang akan diteliti mengenai kolektor surya pemanas udara *v-corrugated absorber* dengan *obstacle* dengan penambahan *fins* berbentuk setengah silinder yang disusun secara *staggered* di bawah plat penyerap dengan tujuan mengetahui diameter *fins* yang optimum serta jarak *fins* terhadap *obstacle* yang optimum. Skema penelitian

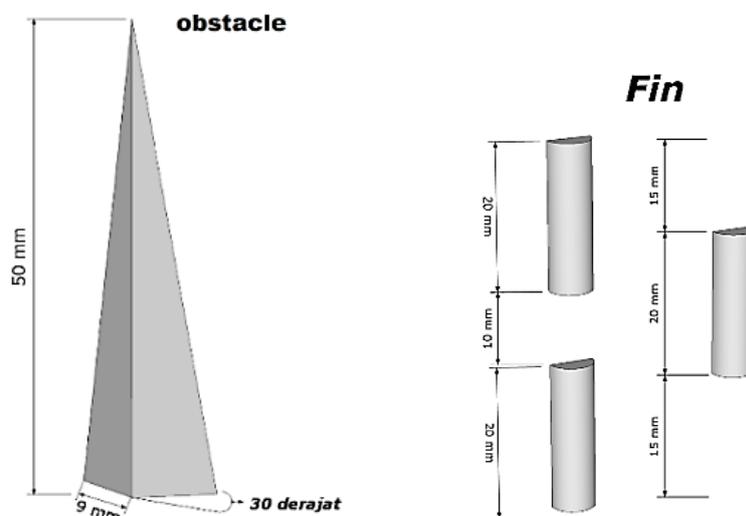
kolektor surya dengan plat penyerap *v-corrugated* dan obstacle dengan penambahan *fins* yang disusun secara *staggered*.



Gambar 1. Skema kolektor surya pemanas udara *v-corrugated absorber* dan *obstacle* dengan penambahan *fins* berbentuk setengah silinder disusun secara *staggered*

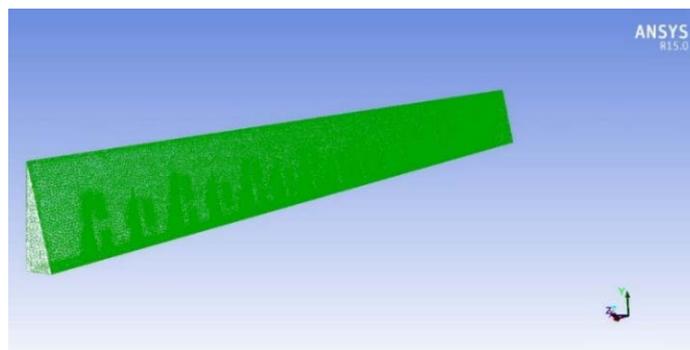
METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan pada kolektor surya pemanas udara dengan plat penyerap *v-corrugated* dan *obstacle* dengan penambahan *fins* setengah silinder. Penelitian ini difokuskan pada variasi diameter *fins* setengah silinder yang disusun secara *staggered* dan jarak *fins* dengan *obstacle*. Penelitian kolektor surya ini memiliki *obstacle* sebanyak 17 buah dan *fins* setengah silinder yang disusun secara *staggered* untuk meningkatkan efisiensi dibandingkan dengan kolektor surya yang mempunyai *obstacle* dengan sudut paruh 30° . Hasil variasi diameter setengah silinder dan jarak *fins* terhadap *obstacle* diharapkan dapat memperoleh peningkatan temperatur *outlet* yang signifikan. Diameter *fins* dalam penelitian ini yang digunakan yaitu diameter 6, 8 dan 10 mm, jarak *fins* terhadap *obstacle* divariasikan yaitu 0,25 L; 0,5 L; 0,75 L dan L adalah jarak antar *obstacle* yaitu 50 mm. Adapun dimensi *obstacle* dan ukuran *fins* yang disusun secara *staggered* pada kolektor surya pemanas udara *v-corrugated* dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. *Obstacle* dan *Fins* yang digunakan pada kolektor surya

Simulasi ini menggunakan perangkat lunak *Computational Fluid Dynamics* (CFD) dengan *software Ansys 15.0* komersial dengan menggunakan metode diskritisasi *second order upwind*. Simulasi dilakukan dengan asumsi aliran berupa aliran *incompressible, steady* dan 3 dimensi. Untuk menganalisa karakteristik aliran yang melintasi *ducting* pada kolektor surya *v-corrugated* terdapat tahapan yang dilakukan yaitu tahap permodelan CFD. Simulasi CFD pada aliran yang melintasi *ducting* kolektor surya *v-corrugated* dengan penambahan *fins* dan *obstacle* ini meliputi tahap *Pre-processing, processing* dan *post-processing*. Tahap *pre-processing* merupakan tahap awal untuk menganalisa pemodelan CFD. Tahap ini terdiri dari pembuatan geometri, *meshing* dan penentuan kondisi batas. Tahapan dalam *pre-processing* menggunakan *software ICEM*. Pembuatan *mesh* elemen hingga (*meshing*) adalah pembagian model solid menjadi elemen-elemen kecil sehingga kondisi batas dan beberapa parameter yang diperlukan dapat diaplikasikan ke dalam elemen-elemen tersebut. Karena keakuratan simulasi bergantung pada *grid* yang dibuat, sehingga dilakukan *grid independent test*. *Shear-Stress-Transport* (SST) $k-\omega$ pada kecepatan 6,5 m/s. Pada penelitian terdahulu Ekadewi et al [12] menggunakan model $SK\epsilon$, $RK\epsilon$, $SK\omega$ dan $SSTk\omega$. Tipe kondisi batas dari model *inlet* dipilih *velocity inlet*. Sedangkan *outlet* dipilih *outflow*. Dinding atas dan bawah dipilih *wall*, kemudian *fins* dan *obstacle* masing-masing didefinisikan sebagai *wall*. Pada geometri yang telah dilakukan, kemudian melakukan pembuatan *meshing*, sebelum pembuatan mesh elemen hingga (*meshing*) adalah pengambilan elemen kecil sehingga kondisi batas dan beberapa parameter yang diperlukan dapat diaplikasikan kedalam elemen tersebut.



Gambar 3. Rancangan *mesh* dengan *fins* 6 mm dan jarak 0,25L yang digunakan dalam simulasi numerik

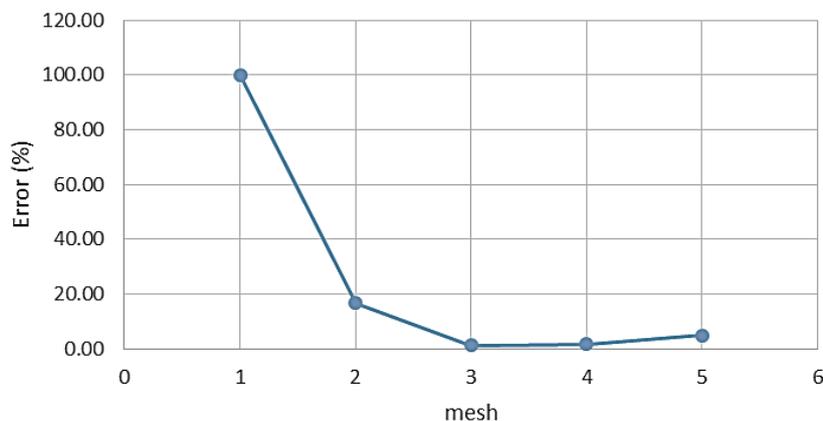
Tahap selanjutnya yaitu *processing*, merupakan langkah kedua dalam melakukan simulasi numerik dengan *Computation Fluid Dynamics* (CFD). Langkah-langkah yang dilakukan meliputi: memilih *solver*, model turbulensi, sifat material yang digunakan, menentukan kondisi batas, mengatur parameter *control* solusi, melakukan iterasi dan menyimpan hasil iterasi. *Post-processing* proses ini merupakan proses akhir dari simulasi dimana hasil simulasi berupa data kualitatif dan kuantitatif, data kualitatif berupa visualisasi aliran dan kontur kecepatan, data kuantitatif berupa temperatur, *pressure* dan *velocity*.

Grid independency pada simulasi ini yaitu bertujuan untuk memeriksa jumlah *grid* yang digunakan dan untuk menentukan *mesh* yang baik serta efisiensi yang dilakukan untuk pengamatan numerik. *Grid independency* pada simulasi ini menggunakan 6 variasi *mesh* yang berpengaruh pada jumlah *cell*, *face* dan *node*. Setiap *mesh* di uji dengan kondisi batas dan pengaturan yang sama dalam *software Fluent*, pengaturan yang dilakukan adalah 3 dimensi, *double precision*, model *viscous* yang digunakan adalah *Shear Sress Transport k-omega* ($SSTk\omega$), material plat penyerap, plat bawah, *obstacle* dan *fins* adalah Aluminium, fluida adalah udara dengan densitas, viskositas, dan konduktivitas termal yang berubah terhadap temperatur. Kecepatan di inlet ditetapkan sama dengan kecepatan aliran dalam saluran kolektor yaitu sebesar 6,5 m/s dengan temperatur inlet 300 K. Setelah dilakukan *grid independency* didapatkan *mesh* terbaik yang ditampilkan pada Tabel 1. untuk masing-masing variasi.

Tabel 1. Jumlah *cell*, *face* dan *node* dari *mesh* yang diuji.

No	Variasi	Mesh Size		Velocity (m/s)	Error (%)
1	Mesh A (<i>Coarsen</i>)	<i>Nodes</i>	436244	6,79	100,00
		<i>Faces</i>	4464706		
		<i>Cell</i>	2164065		
2	Mesh B (<i>Coarse</i>)	<i>Nodes</i>	545766	7,93	16,79
		<i>Faces</i>	5478900		
		<i>Cell</i>	4674879		
3	Mesh C (<i>Moderate</i>)	<i>Nodes</i>	659078	8,03	1,26
		<i>Faces</i>	6423402		
		<i>Cell</i>	5808209		
4	Mesh D (<i>Fine</i>)	<i>Nodes</i>	697909	8,17	1,74
		<i>Faces</i>	6998790		
		<i>Cell</i>	6590876		
5	Mesh E (<i>Finest</i>)	<i>Nodes</i>	767898	8,57	4,90
		<i>Faces</i>	7809789		
		<i>Cell</i>	7098794		

Error Grid independency pada variasi mesh

Gambar 4. Nilai *error grid independency*

Dari Gambar 4 didapatkan *mesh* 3 yang memiliki *error* yang tidak banyak berubah dibandingkan dengan *mesh* 4, *mesh* 5, maka *mesh* 3 dianggap memenuhi *grid independency*.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini dilakukan dengan simulasi numerik, untuk membandingkan performa kolektor surya dengan penambahan *fins* dan tanpa *fins*. Sebelum melakukan percobaan dilakukan pengujian dimensi *fins* yang paling optimum menggunakan simulasi numerik. Adapun variasi dimensi *fins* terletak pada diameter *fins* 6 mm, 8 mm dan 10 mm dan jarak *fins* terhadap *obstacle* yaitu 0,25L; 0,50L dan 0,75L. Setelah mengetahui diameter dan jarak *fins* yang paling optimum berdasarkan perubahan suhu dan penurunan tekanan, kemudian penelitian ini dilanjutkan ke eksperimen terhadap performa kolektor surya pemanas udara. Hasil simulasi numerik didapatkan yang ditampilkan pada Tabel 2. Intensitas cahaya yang digunakan pada simulasi ini adalah 430 Watt/m² dengan kecepatan fluida masuk sebesar 6,5 m/s. Keluaran yang didapat dari simulasi ini adalah peningkatan temperatur dan penurunan tekanan. Simulasi yang dilakukan pada saluran tanpa *fins* juga dilakukan untuk membandingkan pengaruh *fins* terhadap peningkatan temperatur dan penurunan tekanan.

Tabel 2. Perbedaan temperatur dan tekanan hasil simulasi pada semua variasi *fins*

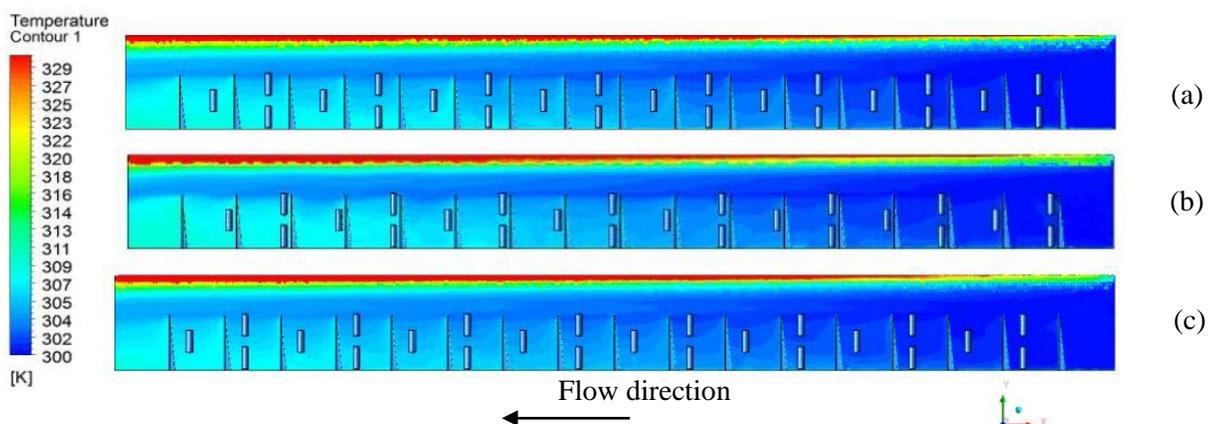
Variasi <i>Fins</i>	L	ΔP (Pa)	ΔT (K)	Rasio ΔP	Rasio ΔT	Rasio $\Delta P/\Delta T$
6	0,25	365,9	9,5543	0,841269	0,031665	26,56789
	0,5	349,8	9,6459	0,760251	0,041556	18,29472
	0,75	327	9,7409	0,645518	0,051814	12,45837
tanpa <i>fins</i>		198,7217	9,26105			
8	0,25	924,7	11,4766	3,653242	0,239233	15,27064
	0,5	773,5	11,0109	2,892379	0,188947	15,30786
	0,75	791,1	11,2118	2,980945	0,21064	14,15183
tanpa <i>fins</i>		198,7217	9,26105			
10	0,25	1056,6	10,8331	4,316985	0,169749	25,43164
	0,5	835,5	10,7922	3,204373	0,165332	19,38142
	0,75	848,5	11,3773	3,269791	0,228511	14,30913
tanpa <i>fins</i>		198,7217	9,26105			

Pemilihan *fins* yang optimal didasarkan pada kenaikan temperatur dan penurunan tekanan yang dirumuskan secara matematis yaitu:

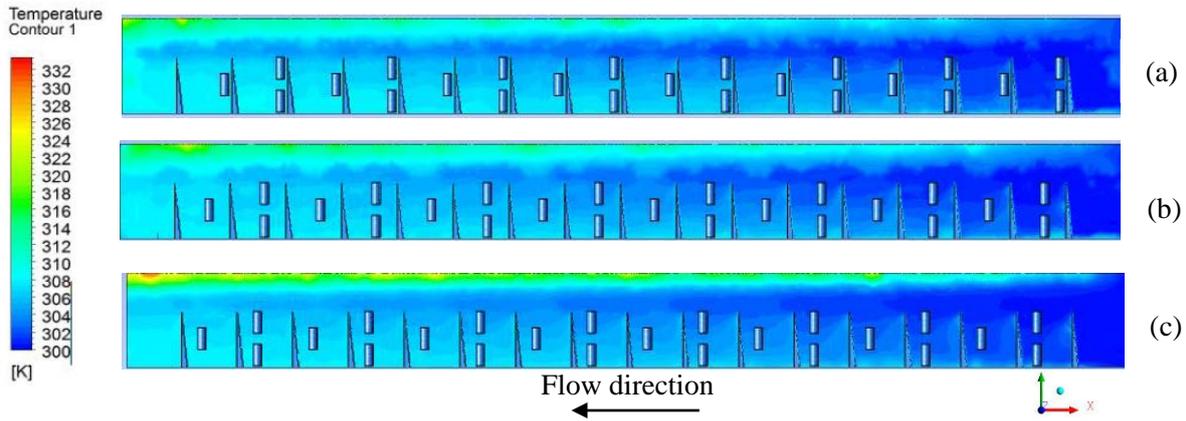
$$R = \frac{\Delta P = \left| \frac{\Delta P_{tanpa\ fins} - \Delta P_{fins}}{\Delta P_{tanpa\ fins}} \right|}{\Delta T = \left| \frac{\Delta T_{tanpa\ fins} - \Delta T_{fins}}{\Delta T_{tanpa\ fins}} \right|}$$

Nilai dari perbedaan tekanan dan temperatur yang dihasilkan dari setiap variasi *fins* dibandingkan dengan nilai perbedaan tekanan dan temperatur pada saluran tanpa *fins*. Nilai rasio ($\Delta P/\Delta T$) yang diharapkan dari hasil simulasi adalah nilai terkecil. Setelah dilakukan simulasi pada semua variasi tersebut didapatkan hasil *fins* dengan diameter 6 mm dan jarak *fins* terhadap *obstacle* 0,75L. *Fins* yang paling optimal dengan nilai $\Delta P/\Delta T = 12,45837$. Adapun proses simulasi yang dilakukan yaitu untuk mengetahui distribusi temperatur pada setiap diameter *fins* dan jarak *fins* terhadap *obstacle*, mulai dari *fins* 6 mm, 8 mm dan 10 mm dengan jarak *fins* terhadap *obstacle* 0,25L; 0,5L dan 0,75L, seperti pada Gambar 5, Gambar 6 dan Gambar 7.

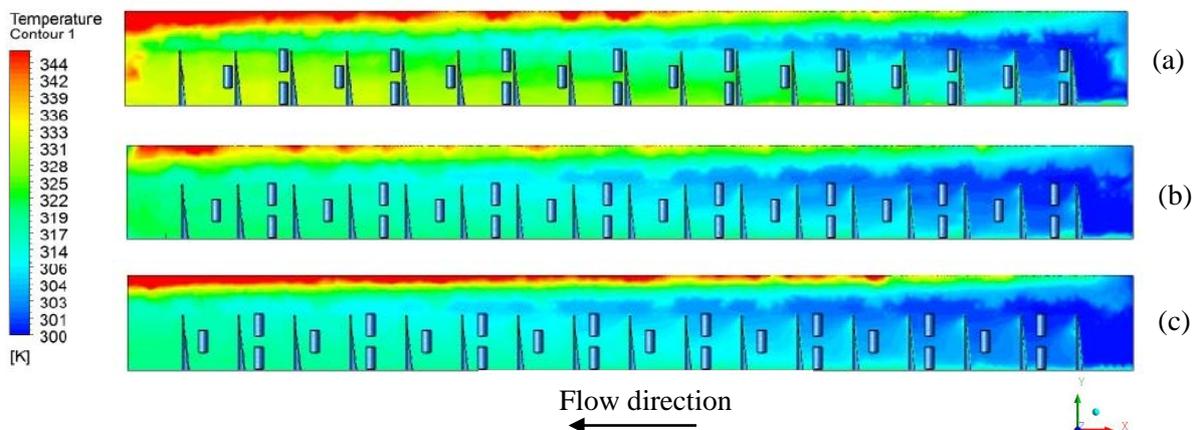
Pada Gambar 5, Gambar 6 dan Gambar 7, distribusi temperatur dari diameter *fins* 6 mm, 8 mm dan 10 mm dengan jarak *fins* terhadap *obstacle* 0,25L; 0,5L dan 0,75L menunjukkan, dengan penambahan *fins* dalam saluran *ducting* kolektor surya *v-corrugated absorber*, akan meningkatkan temperatur dengan laju aliran yang ditetapkan 6,5 m/s dan temperatur *inlet* (T_{fin}) = 300 K.



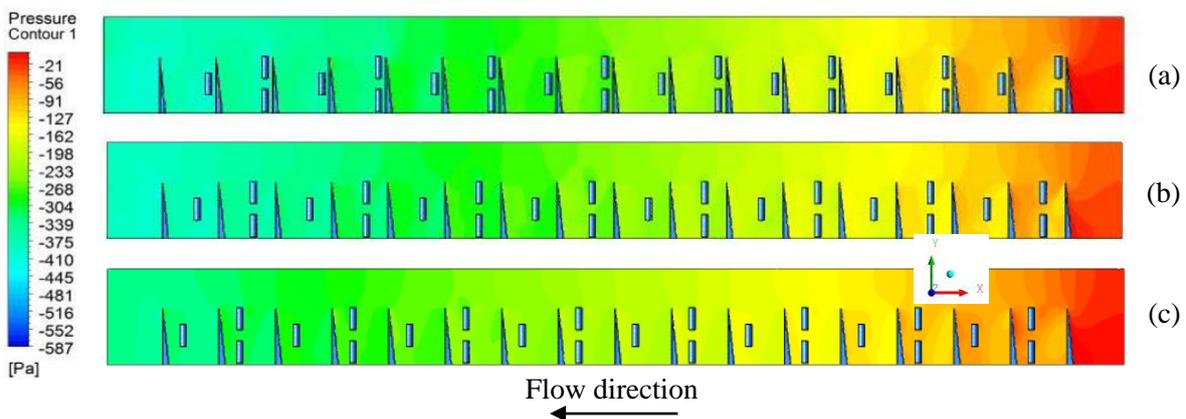
Gambar 5. Distribusi temperatur pada diameter *fins* 6 mm dengan jarak *fins* terhadap *obstacle* (a) *Fins* 6 mm jarak 0,25L, (b) *Fins* 6 mm jarak 0,5L dan (c) *Fins* 6 mm jarak 0,75L



Gambar 6. Distribusi temperatur pada diameter *fins* 8 mm, dengan jarak *fins* terhadap *obstacle* (a) *Fins* 8 mm jarak 0,25L, (b) *Fins* 8 mm jarak 0,5L dan (c) *Fins* 8 mm jarak 0,75L



Gambar 7. Distribusi temperatur pada diameter *fins* 10 mm, dengan jarak *fins* terhadap *obstacle* (a) *Fins* 10 mm jarak 0,25L, (b) *Fins* 10 mm jarak 0,5L dan (c) *Fins* 10 mm jarak 0,75L

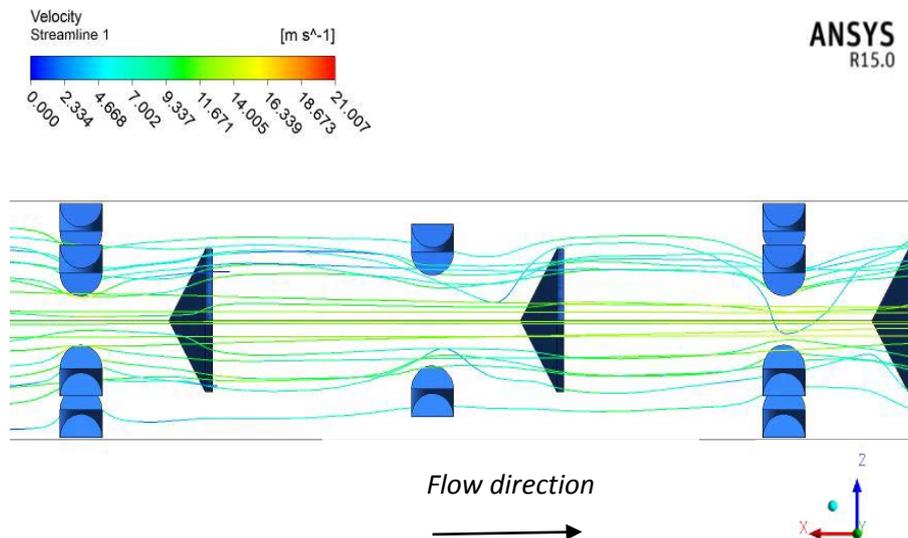


Gambar 8. Distribusi tekanan (*Pressure*) pada diameter *fins* 6 mm dengan semua jarak *fins* terhadap *obstacle* (a) *Fins* 6 mm jarak 0,25L, (b) *Fins* 6 mm jarak 0,5L dan (c) *Fins* 6 mm jarak 0,75L

Pada proses simulasi ini dilakukan juga, untuk mengetahui hasil distribusi tekanan (*Pressure*) pada diameter *fins* 6 mm, 8 mm dan 10 mm dengan jarak *fins* terhadap *obstacle* yaitu 0,25L; 0,5L dan 0,75L. Pada Gambar 8, distribusi tekanan (*Pressure*) dari diameter *fins* 6 mm dengan jarak *fins* terhadap *obstacle* 0,25L; 0,5L dan 0,75L menunjukkan bahwa dengan penambahan *obstacle* dan *fins* dalam *ducting* solar kolektor pemanas udara mengakibatkan

penurunan tekanan terjadi secara bertahap, pada aliran fluida memasuki ke dalam *ducting*, tekanan terjadi tinggi, kemudian setelah melewati *obstacle* dan *fins*, tekanan semakin kecil.

Pada Gambar 9 menunjukkan *streamline* kecepatan yang dihasilkan dari *fins* diameter 6 mm dan jarak terhadap *obstacle* 0,75L. Rasio yang diharapkan yakni dengan nilai terkecil dengan penurunan tekanan terkecil dan peningkatan temperatur terbesar.



Gambar 9. *Streamline* kecepatan pada *fins* 6 mm dan jarak terhadap *obstacle* 0,75L

SIMPULAN

Dari penelitian yang telah dilakukan pada kolektor surya *v-corrugated absorber* dengan penambahan *obstacle* dan *fins* berbentuk setengah silinder yang disusun secara *staggered* yaitu berdasarkan hasil simulasi numerik, *fins* berbentuk setengah silinder yang paling optimum adalah *fins* dengan diameter 6 mm dan jarak terhadap *obstacle* sebesar 0,75L dengan beda temperatur 9,7409 K dan penurunan tekanan sebesar 327 Pa, dari hasil *fins* dan jarak *fins* terhadap *obstacle* yang terbaik dilanjutkan penelitian ini ke eksperimen.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Sudirman S., 2014, Indonesia Outlook Energy, BPPT ESDM, Indonesia.
- [2]. Islamoglu Y., Parmaksizoglu C., 2003, The Effect of Channel Height on the Enhanced Heat Transfer Characteristics in a Corrugated Heat Exchanger Channel, Vol.23, Hal: 979–987, Applied Thermal Engineering Journal.
- [3]. El-Sebaai A., Enein S.A., Ramadan M.R.I., Shalaby S.M., Moharram B.M., 2011, Investigation of Thermal Performance of Double Pass-flat and V-corrugated Plate Solar Air Heaters, Vol.36, Hal: 1076-1086, Energy Journal.
- [4]. Naphon P., 2007, Heat Transfer Characteristics and Pressure Drop in Channel with V-corrugated Upper and Lower Plates, Energy Conversion and Management Journal, Vol.48, Hal: 1516–1524,.
- [5]. Peng D., Zhang X., Dong H., Lv K., 2010, Performance Study of a Novel Solar Air Collector, Applied Thermal Engineering Journal, Vol.30, Hal: 2594-2601.
- [6]. Bekele A., Mishra M., Sushanta Dutta, 2014, Performance Characteristics of Solar Air Heater with Surface Mounted Obstacles, Energy Conversion and Management Journal, Vol.85, Hal 603–611.
- [7]. Ho C.D., Yeh H.M., Cheng T.W., Chen T.C., Wang R.C., 2009, The Influences of Recycle on Performance of Baffled Double-pass Flat-plate Solar Air Heaters with Internal Fins Attached, Applied Energy Journal, Vol.86, Hal: 1470–1478.

- [8]. Kulkarni K., Afzal A., Kim K-Y., 2015, Multi-objective Optimization of Solar Air Heater with Obstacles on Absorber Plate, *Solar Energy*, Vol 114, Hal 364–377.
- [9]. Kurtasbas, Turgut, 2006, Experimental Investigation of Solar Air Heater with Free and Fixed Fins: Efficiency and Exergy Loss, *International Journal of Science & Technology*, Vol. 1. Hal: 75-82.
- [10]. Randall. K.R., B.A. Meyer, M.M. El-Wakil, J.W. Mitchell, 1978, Interferometric Investigation of Convection in Slat, Flat plate, and V-corrugated Solar Collectors, USA, University of Wisconsin-Madison.
- [11]. Karim M.A., Hawlader M.N.A., 2006, Performance Investigation of Flat Plate, V-corrugated and Finned Air Collectors, *Energy Journal*, Vol.31, Hal: 452–470.
- [12]. Ekadewi S. H., Djatmiko Ichsani, Prabowo, Sutardi, 2014, Peningkatan Kinerja Kolektor Surya V-Corrugated Absorber Plate Menggunakan Obstacle yang Ditekuk Secara Vertikal, ITS, Surabaya.
- [13]. Sahiti N., Lemouedda A., Stojkovic D., Durst F., Franz E., 2006, Performance Comparison of Pin Fin In-Duct Flow Arrays with Various Pin Cross-Sections, *International Journal of Science & Technology*, Vol.26, Hal:1176–1192.