

# Studi Simulasi Numerik dan Eksperimental Pengaruh Penambahan *Fin* Berbentuk Prisma Segitiga yang Dimiringkan Terhadap Arah Aliran yang Dipasang pada Bagian Bawah Plat *Absorber* Berbentuk V Terhadap Efisiensi Kolektor Surya Pemanas Udara

Alifia Masitha Harina dan Djatmiko Ichسانی

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111 Indonesia

*e-mail*: djatmiko@me.its.ac.id

**Abstrak**—Energi merupakan hal yang sangat penting bagi kehidupan manusia, karena hampir semua aktivitas yang dilakukan manusia selalu membutuhkan energi. Kebutuhan masyarakat terhadap energi tidak dapat diperbarui meningkat tiap tahunnya. Hal ini menunjukkan ketergantungan terhadap sumber energi yang tidak dapat diperbarui menjadi masalah yang cukup serius. Untuk menanggulangi masalah ketergantungan manusia terhadap sumber energi yang tidak dapat diperbarui maka digunakan energi alternatif dan salah satunya adalah energi surya. Tugas akhir kali ini dilakukan untuk meningkatkan efisiensi dari kolektor surya pemanas udara. Simulasi numerik dilakukan untuk mengetahui pengaruh penambahan fin dengan variasi ketinggian segitiga fin (3 mm, 4 mm, dan 5 mm), jarak antar fin (0,25L; 0,5L; 0,75L), dan sudut kemiringan fin (22,5°; 45°; dan 67,5°). Ekperimen dilakukan untuk menguji performansi dan efisiensi Solar Air Heater dari hasil simulasi numerik yang paling optimal dengan memvariasikan laju aliran massa (0,002; 0,004; 0,006; dan 0,008 kg/s) dan intensitas radiasi (431, 575, dan 719 Watt/m<sup>2</sup>). Hasil yang didapatkan yaitu berdasarkan simulasi numerik variasi fin dengan tinggi segitiga 3 mm, jarak 0,5L, dan sudut 75° adalah pemodelan paling optimal. Lalu berdasarkan eksperimen nilai energi berguna (Qu) tertinggi yaitu 96,925 dicapai ketika intensitas radiasi 718,954 W/m<sup>2</sup> dan laju aliran massa 0,008 kg/s, serta efisiensi tertinggi yaitu 0,9256 dicapai ketika intensitas radiasi 431,372 W/m<sup>2</sup> dan laju aliran massa 0,008 kg/s.

**Kata Kunci**— Kolektor surya, *V-corrugated absorber plate*, energi berguna, efisiensi kolektor, *obstacle*, *fin*.

## I. PENDAHULUAN

Energi menjadi bagian vital dalam kehidupan manusia. karena hampir semua aktivitas yang dilakukan manusia selalu membutuhkan energi. Energi itu sendiri dibagi menjadi dua macam, yaitu energi yang tidak dapat diperbarui (*non-renewable energy*) dan energi yang dapat diperbarui (*renewable energy*). Energi yang tidak dapat diperbarui yaitu energi fosil, yang semakin hari semakin habis persediannya. Sedangkan energi yang dapat diperbarui adalah energi yang dapat dimanfaatkan kembali seperti energi matahari. Energi

surya merupakan salah satu energi yang dapat diperbarui (*renewable energy*) yang ramah, murah, dan mudah didapatkan terutama di negara Indonesia yang terletak pada garis khatulistiwa. Energi surya dapat dikonversikan menjadi energi termal dalam suatu kolektor surya (*solar collector*), energi termal tersebut dapat digunakan untuk memanaskan air atau udara. Kolektor surya pemanas udara pada dasarnya hanya terdiri dari plat penyerap yang menyerap radiasi surya, saluran tempat udara mengalir, kaca penutup, dan *blower* untuk mengalirkan udara. Kolektor surya memiliki berbagai macam variasi untuk meningkatkan efisiensi termalnya, metode pertama dengan mengganti plat penyerap panas yang berbentuk *flat plate absorber* menjadi *V-corrugated absorber*, yang dapat meningkatkan intensitas radiasi cahaya matahari yang diserap oleh *absorber*. Metode kedua dengan penambahan *obstacle* pada area perpindahan panas yang berfungsi sebagai pengganggu aliran fluida sehingga menciptakan turbulensi yang dapat meningkatkan koefisien konveksi. Dan metode ketiga adanya penambahan *fin* pada plat *absorber* yang dapat memperluas area perpindahan panas, sehingga dapat mengoptimalkan peningkatan temperatur fluida yang dihasilkan. Metode ketiga ini yang akan dibahas lebih lanjut pada penelitian ini untuk menciptakan rancangan *fin* yang dapat meningkatkan perpindahan panas secara konveksi namun dengan kerugian tekanan minimum.

## II. URAIAN PENELITIAN

### A. Prinsip Kerja Kolektor Surya Pemanas Udara

Kolektor surya merupakan alat yang mampu merubah energi radiasi matahari menjadi energi panas. Besarnya energi panas yang dipindahkan oleh kolektor surya tergantung dari intensitas matahari tiap waktu dan kemampuan kolektor untuk menyerap radiasi matahari. Pada dasarnya, suatu kolektor surya terdiri dari plat *absorber* yang umumnya dicat hitam, kaca penutup yang transparan terhadap radiasi matahari yang dipasang di atas plat *absorber* untuk mengurangi kehilangan kalor

secara konveksi dan radiasi ke atmosfer, serta isolasi termal di bagian bawah dan samping kiri kanan untuk mengurangi kehilangan kalor secara konduksi. Plat *absorber* dapat berupa plat datar maupun plat yang ditekuk sehingga membentuk saluran penampang segitiga atau plat tipe *v-corrugated*.

Sinar radiasi matahari mula-mula menembus kaca penutup, kemudian mengenai plat *absorber* atau penyerap yang kemudian meyalurkan kalor tersebut ke fluida yang mengalir pada saluran di bawah dan atau atas plat penyerap. Karena menerima kalor dari plat penyerap, maka temperatur fluida mengalami kenaikan ketika keluar dari kolektor surya. Fluida kerja dalam kolektor dapat berupa air atau udara.

### B. Analisa Energi Berguna pada Kolektor Surya ( $Q_U$ )

Energi berupa panas yang berguna dari kolektor surya pemanas udara tipe aliran di bawah plat *absorber* dengan plat gelombang bentuk-V dijabarkan dalam persamaan di bawah ini :

$$Q_u = \dot{m} C_p [T_{f,out} - T_{f,in}] \quad (2.1)$$

atau

$$Q_u = A_c \cdot F_R [S - U_L(T_{f,in} - T_{amb})] \quad (2.2)$$

dengan persamaan radiasi surya yang diserap adalah:

$$S = 1,01 \times \tau_{cg} \times \alpha_{abs} \times I_T \quad (2.3)$$

dengan :

$Q_u$  = energi berguna (Watt)

$\dot{m}$  = laju alir massa fluida atau *mass flow rate* (m/s)

$C_p$  = panas jenis fluida atau spesifik *heat of fluid* (J/Kg.°C)

$S$  = radiasi matahari per satuan luas yang diserap ( $\frac{W}{m^2}$ )

$U_L$  = koefisien kehilangan panas total ( $\frac{W}{m^2.K}$ )

$T_{f,in}$  = temperatur fluida masuk *ducting channel* (K)

$T_{f,out}$  = temperatur fluida keluar *ducting channel* (K)

$T_{amb}$  = temperatur lingkungan (K)

$F_R$  = *collector heat removal factor*

$\tau_{cg}$  = transmissivitas *cover glass*

$\alpha_{abs}$  = absorpsivitas *plat absorber*

$I_T$  = Intensitas radiasi matahari ( $\frac{W}{m^2}$ )

### C. Analisa Efisiensi Kolektor Surya ( $\eta$ )

Energi yang berguna secara teoritis pada kolektor surya telah dijelaskan di atas. Sedangkan efisiensi kolektor surya pemanas udara tipe aliran di bawah plat *absorber* dengan plat gelombang bentuk-V dijabarkan dalam persamaan di bawah ini:

$$\eta = \frac{Q_u}{A_{abs} \cdot I_T} \times 100\% \quad (2.4)$$

dengan :

$\eta$  = efisiensi kolektor surya

$Q_u$  = energi berguna (Watt)

$A_{abs}$  = luasan efektif kolektor ( $m^2$ )

$I_T$  = Intensitas radiasi matahari ( $\frac{W}{m^2}$ )

### D. Penurunan Tekanan pada Kolektor Surya

Tekanan aliran pada saluran kolektor surya diasumsikan *incompressible fluid* yang mengalir pada pipa atau *duct*. Tekanan menurun sepanjang *duct* diakibatkan oleh pengecilan luasan (kenaikan kecepatan) atau ada beda ketinggian (nilai  $z$  meningkat). Pada

kenyataannya, aliran dalam pipa atau *duct* mengalami pengaruh gesekan yang signifikan karena alirannya turbulen. Sehingga persamaan Bernoulli tidak dapat diaplikasikan. Pengaruh gesekan akan menyebabkan penurunan nilai pada persamaan Bernoulli (tidak konstan). Penurunan nilai ini dinyatakan sebagai *loss of mechanical energy*.

Pada aliran turbulen, penurunan tekanan tidak dapat dihitung secara analitis melainkan eksperimental. Pada aliran *fully developed*, penurunan tekanan dipengaruhi oleh gesekan pada saluran horizontal dengan luas area konstan, yaitu diameter ( $D$ ), panjang saluran ( $L$ ), kekasaran permukaan ( $e$ ), kecepatan rata-rata aliran ( $\bar{V}$ ), massa jenis fluida ( $\rho$ ), dan viskositas fluida ( $\mu$ ).

Pada penelitian ini, penurunan tekanan diukur menggunakan *Magnetic Differential Pressure Gage*, maka koefisien friksi aliran dapat dicari dengan persamaan :

$$\left( \frac{P_1}{\rho} + \alpha_1 \frac{V_1^2}{2} + g z_1 \right) - \left( \frac{P_2}{\rho} + \alpha_2 \frac{V_2^2}{2} + g z_2 \right) = \text{Head loss total} \quad (2.5)$$

$$H_{\text{total}} = H_{\text{major}} + H_{\text{minor}} \quad (2.6)$$

$$H_{\text{major}} = f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2} \quad (2.7)$$

$$\left( \frac{P_1}{\rho} \right) - \left( \frac{P_2}{\rho} \right) = f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2} \quad (2.8)$$

$$f = \frac{\Delta P}{\frac{L}{D} \rho \frac{V^2}{2}} \quad (2.9)$$

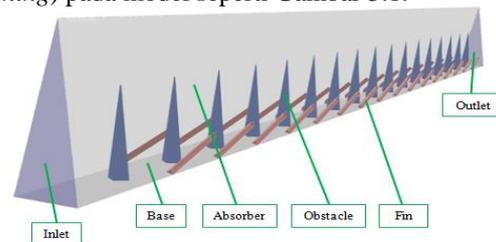
Asumsi yang digunakan yakni :

1. Aliran *steady* dan *incompressible flow*
2. Aliran *fully developed turbulent flow* ( $\alpha_1 = \alpha_2 = 1$ )
3. Arah aliran horizontal sehingga tidak ada beda ketinggian dalam saluran ( $z_1 = z_2$ )
4. Luas penampang aliran konstan sehingga tidak kecepatan rata-rata masuk dan keluar saluran sama ( $\bar{V}_1 = \bar{V}_2$ )
5. Tidak ada *fitting* pada saluran (*heat loss minor* = 0)

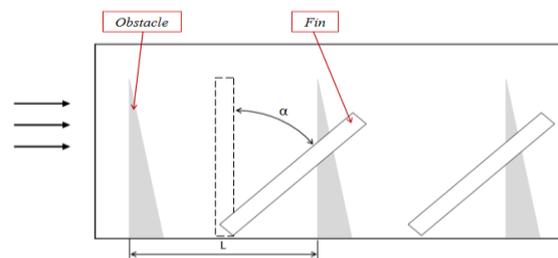
## III. METODE PENELITIAN

### A. Simulasi Numerik

Simulasi numerik dilakukan dengan menggunakan metode *Computational Fluid Dynamics* (CFD) dengan *software* Fluent 6.3.26 dan *software* GAMBIT 2.4.6 untuk membuat model awal dan melakukan diskritisasi (*meshing*) pada model seperti Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Model v-corrugated absorber.



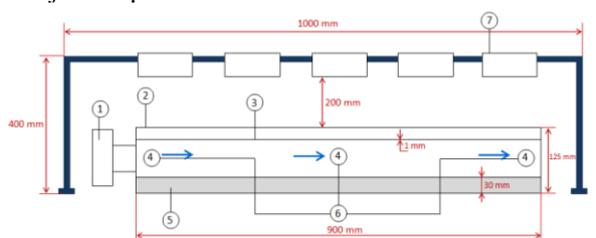
Gambar 3.2 Gambar variasi fin. (pandangan samping)

Pemakaian *fin* perlu diperhitungkan untuk mendapatkan  $Q_{usefull}$  yang paling optimal. Penggunaan *fin* untuk memperluas area perpindahan panas fluida kerja di dalam kolektor surya serta menimbulkan olakan pada sisi-sisi miring plat *absorber*. *Fin* yang digunakan berbentuk prisma segitiga. Pemilihan tinggi segitiga, jarak, dan sudut kemiringan *fin* digunakan untuk mencari posisi yang paling optimal, sehingga dapat mengoptimalkan peningkatan temperatur fluida yang dihasilkan, dapat dilihat pada Gambar 3.2. Tinggi segitiga pada *fin* prisma segitiga yang digunakan dalam penelitian ini divariasikan yaitu 3 mm, 4 mm, dan 5 mm. Jarak antar *fin* dalam penelitian ini divariasikan yaitu 0,25L; 0,5L; 0,75L. L adalah jarak antar *obstacle*, yakni 50 mm. Sudut kemiringan *fin* dalam penelitian ini divariasikan yaitu 22,5°; 45°; dan 67,5°. Pemilihan *fin* yang paling optimum berdasarkan hasil simulasi yakni perbedaan temperatur dan tekanan masuk dan keluar.

**B. Eksperimen**

Pengambilan data eksperimen dilakukan setelah *test section* hasil simulasi menghasilkan data yang diinginkan yakni tinggi segitiga dan sudut *fin* paling optimum. Pada eksperimen digunakan variabel kontrol yaitu kecepatan *blower* dan intensitas radiasi lampu halogen. Kecepatan udara yang dihasilkan *blower* diatur dengan menggunakan inverter. Variasi laju aliran massa udara meliputi 0,002 kg/s; 0,004 kg/s; 0,006 kg/s; dan 0,008 kg/s. Lampu halogen sebagai pengganti matahari digunakan sebanyak 5 buah lampu dengan masing-masing daya 500 watt. Lampu halogen disusun paralel dan terhubung dengan *voltage regulator*. *Voltage regulator* berfungsi sebagai pengatur tegangan. Pyranometer digunakan untuk mengetahui besar intensitas yang diterima kolektor surya. Variasi intensitas radiasi lampu yakni sebesar 431, 575, dan 719 W/m<sup>2</sup>.

Selama pengujian kolektor surya tersebut terdapat parameter yang diukur yaitu temperatur fluida kerja masuk kedalam *ducting channel* ( $T_{f,in}$ ), temperatur fluida kerja keluar *ducting channel* ( $T_{f,out}$ ), temperatur udara *ambient* ( $T_{amb}$ ), temperatur plat *absorber* ( $T_{abs}$ ), temperatur *cover glass* ( $T_{cg}$ ), temperatur *fin* ( $T_{fin}$ ), temperatur *base* ( $T_{base}$ ), temperatur isolasi ( $T_{iso}$ ), intensitas radiasi eksterterrestrial ( $I_T$ ), kecepatan fluida kerja ( $v_f$ ), dan  $\Delta$  *pressure*. Berikut adalah gambaran sistem kerja yang digunakan dalam eksperimen, ditunjukkan pada Gambar 3.2 di bawah.



**Gambar 3.2** Sistem kerja pada eksperimen.

**IV. HASIL DAN PEMBAHASAN**

**A. Hasil Simulasi Numerik**

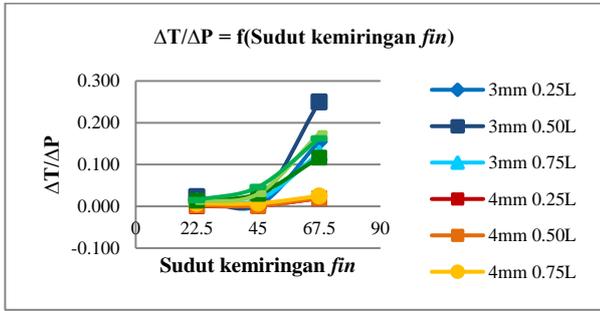
Simulasi dilakukan pada variasi tinggi segitiga *fin* prisma segitiga, jarak *fin* terhadap *obstacle*, dan sudut kemiringan *fin* dengan satu variasi intensitas, 430 Watt/m<sup>2</sup>, dan kecepatan fluida masuk, 6,5 m/s. Selanjutnya, dari simulasi yang dilakukan untuk tiap

variasi, *global properties* yang dihasilkan yaitu perbedaan temperatur masuk dan keluar serta penurunan tekanan aliran. Simulasi pada saluran tanpa *fin* juga dilakukan untuk membandingkan pengaruh *fin* terhadap peningkatan temperatur dan penurunan tekanan. Hasil simulasi dapat dilihat pada Tabel 3.1.

**TABEL 3.1** HASIL SIMULASI KOLEKTOR SURYA DENGAN VARIASI TINGGI, JARAK, DAN SUDUT *FIN*

FIN			$\Delta T(K)$	$\Delta P (Pa)$	RASIO			
Tinggi	Jarak	Sudut			$\Delta T$	$\Delta P$	$\Delta T/\Delta P$	
3 mm	0.25L	22.5°	9.059	437.525	0.022	1.202	0.0182	
		45°	9.252	303.795	0.001	0.529	0.0018	
		67.5°	9.486	229.879	0.024	0.157	0.1549	
		22.5°	9.014	426.618	0.027	1.147	0.0233	
		45°	9.200	319.176	0.007	0.606	0.0109	
		67.5°	9.621	229.625	0.039	0.156	0.249	
	0.75L	22.5°	9.086	488.495	0.019	1.458	0.0130	
		45°	9.172	324.588	0.010	0.633	0.0152	
		67.5°	9.432	227.592	0.018	0.145	0.1271	
		22.5°	9.256	553.351	0.001	1.785	0.0003	
		45°	9.271	432.140	0.001	1.175	0.0009	
		67.5°	9.387	340.222	0.014	0.712	0.0191	
4 mm	0.5L	22.5°	9.236	546.627	0.003	1.751	0.0015	
		45°	9.248	464.536	0.001	1.338	0.0011	
		67.5°	9.400	350.399	0.015	0.763	0.0197	
		22.5°	9.397	641.658	0.015	2.229	0.0066	
		45°	9.359	485.128	0.011	1.441	0.0073	
		67.5°	9.442	355.752	0.020	0.790	0.0247	
	0.25L	22.5°	9.589	712.973	0.035	2.588	0.0137	
		45°	9.564	414.737	0.033	1.087	0.0301	
		67.5°	9.624	265.395	0.039	0.336	0.1168	
		22.5°	9.535	714.515	0.030	2.596	0.0114	
		45°	9.592	435.719	0.036	1.193	0.0301	
		67.5°	9.779	262.324	0.056	0.320	0.1747	
0.75L	22.5°	9.719	845.931	0.049	3.257	0.0152		
	45°	9.771	435.301	0.055	1.191	0.0463		
	67.5°	9.729	260.506	0.051	0.311	0.1625		
	Tanpa <i>fin</i>			9.261	198.722			

Pemilihan *fin* menggunakan rasio antara perbandingan peningkatan temperatur terhadap penurunan tekanan ketika ditambahkan *fin*, dapat dinyatakan secara matematis  $\left| \frac{\Delta T_{fin} - \Delta T_{tanpa\ fin}}{\Delta T_{tanpa\ fin}} \right| / \left| \frac{\Delta P_{fin} - \Delta P_{tanpa\ fin}}{\Delta P_{tanpa\ fin}} \right|$ . Rasio yang diharapkan yakni dengan nilai terbesar dengan peningkatan temperatur terbesar dengan penurunan tekanan terkecil. Rasio tersebut menunjukkan besar *energy gain* yang dihasilkan per *energy supply* yang dibutuhkan. *Energy gain* dihitung menggunakan persamaan  $Q = \dot{m}_f \times C_p \times (\Delta T_{fin} - \Delta T_{tanpa\ fin})$ , dimana  $\dot{m}_f$  adalah laju aliran massa udara (kg/s),  $C_p$  adalah panas jenis fluida atau *specific heat of fluid* (J/Kg.°C),  $\Delta T$  adalah beda temperatur keluar dan masuk udara. *Energy supply* dihitung menggunakan persamaan  $P = \dot{V} (\Delta P_{fin} - \Delta P_{tanpa\ fin})$ , dimana P adalah daya yang dibutuhkan (Watt),  $\dot{V}$  adalah debit aliran udara (m<sup>3</sup>/s),  $\Delta P$  adalah penurunan tekanan (Pascal).



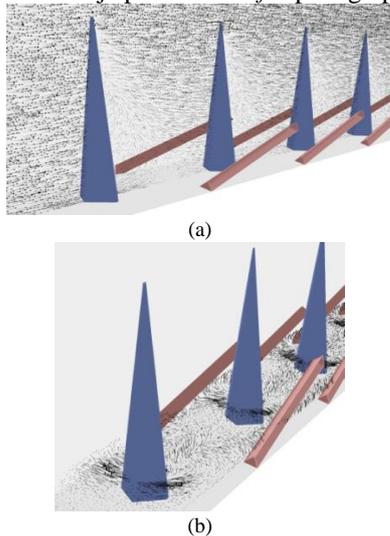
Gambar 3.3 Grafik  $\Delta T/\Delta P = f(\text{Sudut kemiringan } fin)$  pada semua variasi

Hasil perhitungan rasio tertinggi adalah tinggi segitiga 3 mm, sudut kemiringan 67,5°, dan jarak 0,5L dengan nilai 0,2499, rasio terendah adalah tinggi segitiga 4 mm, sudut kemiringan 22,5°, dan jarak 0,25L dengan nilai 0.0003, sehingga *Fin* tersebut disimpulkan sebagai *fin* paling optimal. *Fin* optimal didapatkan pada variasi sudut paling besar yaitu 67,5°, oleh karena itu simulasi dilanjutkan pada *fin* tinggi segitiga 3 mm dan jarak 0,5L dengan memvariasikan sudut kemiringan yang lebih besar, yaitu 70°;72,5°; 75°; 77,5°; dan 80° dengan harapan dapat memperoleh nilai rasio ( $\Delta T/\Delta P$ ) yang lebih tinggi dari variasi sebelumnya. Hasil simulasi variasi sudut dapat dilihat pada Tabel 4.2.

TABEL 3. 2 HASIL SIMULASI KOLEKTOR SURYA DENGAN VARIASI SUDUT PADA *FIN* 3 MM DAN JARAK 0.50L

FIN			ΔT (K)		ΔP (Pa)		RASIO		
Sudut	Tinggi	Jarak	ΔT (K)	ΔP (Pa)	ΔT	ΔP	ΔT/ΔP		
70°			9.565	221.782	0.033	0.116	0.2827		
72.5°			9.414	218.036	0.017	0.097	0.1701		
75°	3 mm	0.5L	9.591	213.509	0.036	0.074	0.4788		
77.5°			9.497	211.827	0.025	0.066	0.3855		
80°			9.377	208.652	0.012	0.050	0.2501		

Pada Tabel 3.2 dapat dilihat bahwa pada variasi tambahan rasio tertinggi yang didapatkan yaitu 0,4788 dengan sudut kemiringan 75°, nilai tersebut jauh lebih tinggi dibandingkan dengan rasio pada *fin* optimal dengan sudut kemiringan 67,5° sebelumnya yaitu 0,2499. Dari hasil simulasi yang telah dilakukan dan perhitungan rasio penurunan temperatur dengan penurunan tekanan, didapatkan *fin* paling optimal dengan tinggi segitiga *fin* 3 mm, sudut kemiringan *fin* 75°, dan jarak *fin* terhadap *obstacle* 0.5L. Pada Gambar 4.2 dapat dilihat vektor kecepatan fluida kerja pada variasi *fin* paling optimal.



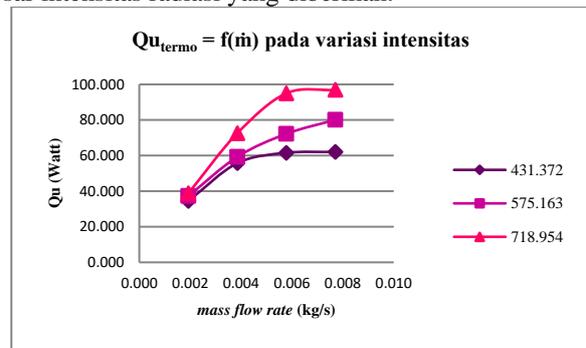
Gambar 3.4 Vektor kecepatan pada *fin* optimal.

Gambar 3.4 (a) menunjukkan vektor kecepatan fluida kerja yang dilihat dari sumbu-Y dengan *iso value* 0,015 m pada sumbu X. Gambar 4.8 (b) menunjukkan vektor kecepatan fluida kerja yang dilihat dari sumbu-Z dengan *iso value* 0,005 m pada sumbu Y. Setelah fluida mengenai *obstacle* dan *fin* terlihat ada aliran balik dan menimbulkan *vortex* serta meningkatkan kecepatan aliran udara di atas dan samping *obstacle*. Keadaan ini membuat lebih banyak udara yang bersinggungan dengan plat *absorber* dan *fin* yang panas, sehingga udara ke luar kolektor pada temperatur yang lebih tinggi. *Vortex* merupakan ciri bahwa aliran menjadi turbulen. Ketika aliran menjadi turbulen, partikel fluida menunjukkan gerakan tambahan yang dapat meningkatkan kecepatan energi dan pertukaran momentum diantara partikel sehingga dapat meningkatkan perpindahan kalor dan koefisien gesek aliran.

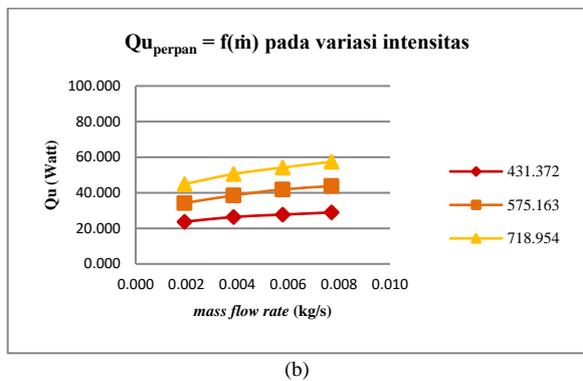
B. Hasil Eksperimen

Penelitian dan pengambilan data dilakukan di Laboratorium Perpindahan Panas dan Massa Teknik Mesin ITS untuk mengetahui pengaruh penambahan *fin* prisma segitiga pada kolektor surya *v-corrugated* dengan *obstacle* berbentuk paruh dengan sudut paruh 30°. Penelitian ini menggunakan variasi laju aliran massa udara yaitu 0,002; 0,004; 0,006; dan 0,008 kg/s, dan variasi intensitas cahaya lampu yaitu 3,3; 4,4; dan 5,5 mVolt, serta *holding time* 10 menit tiap pergantian kecepatan dan intensitas cahaya. Berdasarkan data-data yang diperoleh, selanjutnya dilakukan perhitungan untuk dapat mengetahui performansi dari kolektor surya untuk kemudian hasil perhitungan tersebut dilakukan analisa. Perhitungan dan analisa yang dilakukan dibatasi oleh asumsi-asumsi yang disebutkan pada subbab batasan masalah.

Energi berguna adalah besar energi panas yang diserap oleh fluida kerja untuk menaikkan temperatur keluar. Terdapat dua energi berguna dari kolektor surya dengan tinjauan termodinamika ( $Q_{u_{termo}}$ ) dan perpindahan panas ( $Q_{u_{perpan}}$ ). Pada Gambar 3.5 yang menampilkan grafik  $Q_u$  fungsi laju aliran massa pada variasi intensitas radiasi, dapat dilihat bahwa tren kedua grafik  $Q_u$  berubah terhadap besarnya laju aliran massa yang diberikan, semakin besar laju aliran massa yang diberikan maka nilai  $Q_u$  juga akan semakin tinggi, begitu pula dengan besar intensitas radiasi yang diberikan.



(a)

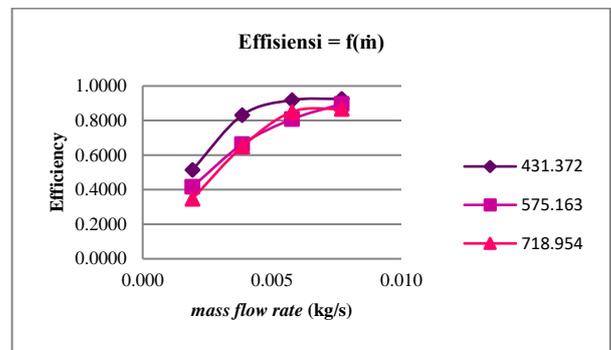


Gambar 3.5 Grafik  $Q_u$  fungsi laju aliran massa pada variasi intensitas radiasi. (a)  $Q_u$  termo, (b)  $Q_u$  perpan.

Pada grafik  $Q_{u_{termo}}$ , nilai tertinggi dihasilkan pada laju aliran massa 0.008 kg/s dengan intensitas radiasi 718.954 W/m<sup>2</sup>, yaitu 96.9248 Watt. Begitu pula nilai  $Q_{u_{perpan}}$  tertinggi dihasilkan pada laju aliran massa 0.008 kg/s dengan intensitas radiasi 718.954 W/m<sup>2</sup>, yaitu 51.98851 Watt. Hal tersebut terjadi karena perhitungan  $Q_{u_{termo}}$  dipengaruhi oleh besar laju aliran massa dan beda temperatur yang dihasilkan. Pada intensitas radiasi yang sama, semakin kecil laju aliran massa yang dialirkan maka semakin mudah fluida kerja untuk menyerap panas dan menghasilkan beda temperatur yang besar. Ketika beda temperatur besar tetapi laju aliran massa kecil maka nilai  $Q_{u_{termo}}$  yang didapatkan kecil. Dari grafik di atas, 0.008 kg/s adalah laju aliran massa optimal untuk menghasilkan  $Q_{u_{termo}}$  paling besar.

Dari hasil perhitungan  $Q_{u_{termo}}$  dan  $Q_{u_{perpan}}$  terdapat selisih yang cukup tinggi.  $Q_{u_{termo}}$  dihitung dengan perumusan termodinamika,  $Q_{u_{termo}} = \dot{m} C_p [T_{f,out} - T_{f,in}]$ , dengan mengasumsikan laju aliran massa yang masuk dan keluar sama atau tidak ada kebocoran dalam saluran. Rumus  $Q_{u_{perpan}} = A_c \cdot F_R [S - U_L (T_{f,in} - T_{amb})]$  menunjukkan bahwa besar  $Q_{u_{perpan}}$  dipengaruhi oleh besar intensitas yang diterima dan energi hilang ( $Q_{loss} = A_c \cdot (U_T (T_{abs} - T_{amb}))$ ).  $A_c$  adalah luasan efektif plat absorber.  $F_R$  adalah faktor pelepasan panas plat absorber.  $T_{f,in}$  adalah temperatur masuk udara.  $T_{amb}$  adalah temperatur sekitar. Jika perumusan  $U_T$  dijabarkan maka, nilainya bergantung pada koefisien konveksi dan radiasi pada plat absorber dan cover glass. Perbedaan hasil perhitungan energi berguna dikarenakan dalam melakukan perhitungan desain terdapat banyak asumsi yang digunakan seperti faktor pelepasan panas ( $F_R$ ), koefisien absorptivitas plat absorber, dan transmisivitas kaca dalam menghitung jumlah intensitas radiasi yang diterima kolektor surya ( $S$ ), serta asumsi dalam perhitungan overall heat coefficient total ( $U_L$ ), sehingga hasil yang didapatkan kurang mendekati kondisi aktual eksperimen. Dengan demikian, nilai  $Q_u$  yang digunakan didasarkan pada perhitungan termodinamika.

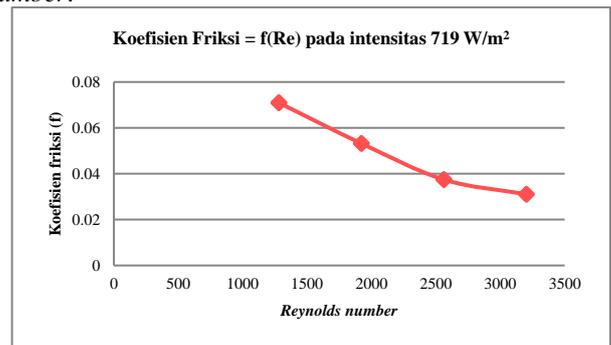
Berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan, unjuk kerja dari kolektor surya dapat dilihat dari nilai efisiensinya. Efisiensi merupakan perbandingan antara energi yang berguna dengan energi yang masuk. Nilai efisiensi menunjukkan baik atau tidaknya kolektor surya yang diuji dalam mentransfer energi panas ke fluida kerja. Pada Gambar 3.6 dapat dilihat jika efisiensi desain paling tinggi yaitu 0,926 pada laju aliran massa 0,008 kg/s dan intensitas radiasi 431,372 W/m<sup>2</sup>.



Gambar 3.6 Grafik efisiensi fungsi laju aliran massa pada variasi intensitas radiasi.

Besar efisiensi sebanding dengan kalor yang diterima udara dan berbanding terbalik dengan intensitas radiasi yang diterima plat absorber. Hal ini sesuai dengan rumus (2.4) sehingga tren grafik naik. Efisiensi desain paling tinggi terjadi pada variasi intensitas paling rendah, hal ini dapat terjadi dikarenakan perumusan efisiensi jika dijabarkan yaitu  $\eta = 1 - \frac{Q_{loss}}{A_c \cdot I_T}$  dimana  $Q_{loss} = A_c \cdot (U_T (T_{abs} - T_{amb}))$ . Efisiensi dipengaruhi oleh overall heat coefficient top ( $U_T$ ), pada perhitungan  $U_T$  dipengaruhi oleh temperatur plat absorber dan cover glass. Semakin kecil intensitas radiasi maka  $U_T$  semakin kecil dan  $Q_u$  termo semakin besar, dengan demikian efisiensi yang dihasilkan akan besar saat intensitas rendah.

Penurunan tekanan adalah hasil dari gaya gesek pada fluida ketika mengalir melalui saluran. Penurunan tekanan pada eksperimen ini diukur dengan menggunakan differential magnetic pressure gage selama proses pemanasan pada tiap variasi Reynolds number.



Gambar 3.7 Grafik koefisien friksi aliran fungsi Reynolds number pada intensitas 719 W/m<sup>2</sup>.

Pada Gambar 3.7 dapat dilihat grafik koefisien friksi aliran ( $f$ ) fungsi Reynolds number ( $Re$ ) pada intensitas 718.954 W/m<sup>2</sup>. Koefisien friksi paling besar pada Reynolds number 1281. Tren grafik menurun menunjukkan koefisien friksi aliran berkurang seiring bertambahnya  $Re$ , hal ini bersesuaian dengan diagram moody.

Besarnya Reynolds number sebanding dengan kecepatan aliran ( $v$ ). Saat aliran adalah aliran laminar, nilai koefisien gesek dipengaruhi oleh Reynolds number dan kekasaran permukaan saluran (roughness,  $\epsilon/D$ ), maka semakin besar Reynolds number mengakibatkan semakin kecil nilai koefisien gesek. Sedangkan saat aliran adalah aliran turbulen, nilai  $f$  cenderung konstan terhadap kenaikan Reynolds number.

Penambahan obstacle dan fin mengakibatkan penurunan tekanan maka energi yang diperlukan untuk

mengalirkan udara semakin besar. Energi yang diperlukan dapat dihitung dengan persamaan  $P = \dot{V} \Delta P$ , dimana  $P$  adalah daya yang dibutuhkan (Watt),  $\dot{V}$  adalah debit aliran udara ( $m^3/s$ ),  $\Delta P$  adalah penurunan tekanan (Pascal). Ketika penurunan tekanan semakin besar maka akan menyebabkan kenaikan daya *blower*.

#### V. KESIMPULAN

Dari penelitian kolektor surya *v-corrugated absorber* dengan penambahan *obstacle* dan *fin* prisma segitiga dapat disimpulkan yaitu sebagai berikut :

1. Berdasarkan hasil simulasi numerik pada kolektor , *fin* prisma segitiga dengan tinggi segitiga 3 mm, jarak 0,5L terhadap *obstacle*, dan sudut kemiringan  $75^\circ$  adalah *fin* paling optimal dengan beda temperatur 9,591 K dan penurunan tekanan 213,509 Pa.
2. Berdasarkan hasil eksperimen, kenaikan temperatur udara tertinggi sebagai hasil perpindahan kalor dari plat *absorber*, yaitu 20,00 K, dicapai ketika intensitas radiasi 718,954  $W/m^2$ , laju aliran massa 0,002  $kg/s$  dengan penurunan tekanan aliran sebesar 8 Pa.
3. Energi berguna ( $Q_u$ ) kolektor surya tertinggi yaitu 96,925 W, dicapai ketika intensitas radiasi 718,954  $W/m^2$ , laju aliran massa 0,008  $kg/s$ .
4. Efisiensi kolektor surya tertinggi yaitu 0,9256, dicapai ketika intensitas radiasi 431,372  $W/m^2$ , laju aliran massa 0,008  $kg/s$ .
5. Penurunan tekanan berbanding lurus dengan penambahan *Reynolds number*. Penurunan tekanan paling kecil dicapai pada *Reynolds number* 1281 yaitu 8 Pa, sedangkan penurunan tekanan paling besar pada *Reynolds number* 3202,67 yaitu 56 Pa.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Allah SWT, hanya karena tuntunan-Nya penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini. Prof. Dr. Ir. Djatmiko Ichسانی, M.Eng, selaku dosen pembimbing yang selalu memberikan bimbingan dan arahan dalam penulisan Tugas Akhir ini.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Arieffani, Febry. 2010. Studi Simulasi Numerik dan Eksperimental Unjuk Kerja Kolektor Surya V-Groove Absorber dengan Penambahan Obstacle berbentuk Segitiga yang Disusun Sejajar. Tugas Akhir. Tidak dipublikasikan. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- [2] Bhushan, B. & Singh, R. 2010. *A Review on Methodology of Artificial Roughness used in Duct of Solar Air Heaters*. India: Beant College of Engineering and Technology, Gurdaspur.
- [3] Duffie, J.A. and W.A. Beckman. 1991. *Solar Engineering of Thermal Processes*. Second Edition. John Wiley and Sons Inc., New York.
- [4] Handoyo, Ekadewi A. 2014. Peningkatan Kinerja Kolektor Surya Tipe V-Corrugated Absorber Plate Menggunakan Obstacle yang Ditekuk Secara Vertikal. Tugas Akhir. Tidak dipublikasikan. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- [5] Incropera, Frank.P., David P. Dewitt, Theodore L. Bergman, Adrienne S. Lavine. 2011. *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*. Seventh Edition. John Wiley and Sons Inc., New York.
- [6] Iqlima, Mirza. 2012. Studi Eksperimental dan Analisa Medan Kecepatan pada Performansi Kolektor Surya V-Corrugated Absorber dengan Penambahan Obstacle Berbentuk Paruh dengan Variasi Sudut Paruh. Tugas Akhir. Tidak dipublikasikan. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- [7] Karim, Md Azharul and M.N.A Hawladerb. 2004. *Performance Investigation of Flat-Plate, V-Corrugated and Finned Air Collectors*. Australia: University of Melbourne, Victoria.
- [8] Randall, K. R., B.A. Meyer, M.M. El-Wakil, and J.W. Mitchell. 1978. *Interferometric Investigations of Convection in Slat, Flat Plate, and Vee-Corrugated Solar Collectors*. University of Wisconsin-Madison.
- [9] Said, Sudirman. 2014. Outlook Energi Indonesia 2014. Jakarta.
- [10] Tuakia, Firman. 2008. Dasar-dasar CFD Menggunakan FLUENT. Penerbit Informatika. Bandung