

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

Clarissa Suroso 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—Sumber energi fosil akan habis dalam beberapa tahun lagi jika tidak ada alternatif energi untuk dijadikan bahan bakar^[1]. Energi alternatif yang mudah didapatkan di Indonesia adalah energi surya yang dapat diaplikasikan dalam solar air collector sebagai pengering diberbagai industri. Pada penelitian ini dilakukan uji performa kolektor surya berbentuk *v-corrugated* dengan penambahan fin prisma segitiga pada bagian bawah plat absorber. Penelitian dilakukan dengan metode simulasi untuk mengetahui ketinggian dan jarak fin terhadap obstacle paling optimum dan eksperimen untuk mengetahui pengaruh penambahan fin terhadap efisiensi kolektor surya. Pada simulasi, variasi ketinggian fin adalah 3mm; 4mm; 5mm dan jarak fin 0,25l; 0,50l; 0,75l. Fin paling optimum dicapai pada ketinggian 3mm dan jarak 0,50l dilihat berdasarkan rasio $\Delta P/\Delta T$ yang paling kecil yaitu 37,067. Fin tersebut diuji secara eksperimen dengan variasi laju aliran massa 0,002kg/s; 0,004kg/s; 0,006kg/s; 0,008kg/s dan intensitas radiasi lampu halogen 431Watt/m²; 575Watt/m²; 719Watt/m². Hasil yang didapatkan pada penelitian ini adalah besarnya energi berguna yang diserap oleh fluida kerja berbanding lurus dengan peningkatan laju aliran massa dan intensitas radiasi. Sedangkan besarnya efisiensi dari kolektor surya yang diuji berbanding lurus dengan peningkatan laju aliran massa namun berbanding terbalik dengan intensitas radiasi. Energi berguna (*Qu*) paling tinggi dicapai pada laju aliran massa 0,008 kg/s dengan intensitas radiasi 719 Watt/m² yakni 72,67 Watt dan efisiensi tertinggi sebesar 91,77% dicapai pada laju aliran massa 0,008 kg/s dengan intensitas radiasi sebesar 431 Watt/m².

Kata Kunci—Solar air collector, fin, plat absorber, *Qusefull*, efisiensi, laju aliran massa, intensitas radiasi.

I. PENDAHULUAN

Energi surya merupakan salah satu energi alternatif yang ketersediaannya melimpah di Indonesia. Penggunaan energi surya dapat diaplikasikan kedalam bidang pengeringan dengan menggunakan kolektor surya (*solar air collector*). Alat ini memanfaatkan energi matahari berupa panas radiasi untuk diserap plat penyerap lalu kemudian ditransfer ke fluida kerja.

Permasalahan yang dihadapi kolektor surya pemanas udara adalah rendahnya koefisien perpindahan kalor konveksi antara permukaan plat penyerap dengan udara yang mengalir di sebelah atas atau bawahnya. Oleh karena itu dilakukan modifikasi untuk meningkatkan efisiensi termal kolektor surya, diantaranya adalah meningkatkan penyerapan intensitas radiasi penyerapan dengan memperluas bidang penyerapan menggunakan *V-corrugated absorber* oleh Md Azharul Karim (2004)^[2], meningkatkan koefisien perpindahan panas konveksi dengan menciptakan turbulensi pada area perpindahan panas dengan memberi tambahan *obstacle* oleh A.Abene (2003)^[3], dan yang terakhir adalah menggabungkan plat absorber berbentuk *v-corrugated* dan diberi tambahan *obstacle* oleh Ekadewi (2014). Semua penelitian dengan menambahkan *obstacle* ini terbukti dapat meningkatkan koefisien perpindahan panas antara plat penyerap dengan udara. Modifikasi yang dilakukan pada penelitian ini berpedoman pada referensi oleh Ekadewi pada 2014 yaitu dengan menggunakan *v-corrugated* plat absorber dengan penambahan *obstacle* berbentuk paruh di sepanjang saluran dan *fin* berbentuk prisma segitiga yang dipasang pada bagian bawah plat absorber. Plat *absorber* yang digunakan dalam penelitian ini terbuat dari plat aluminium yang dibentuk *V-corrugated*. Penggunaan plat *absorber* yang berbentuk *V-corrugated* ini memiliki luasan yang lebih besar jika dibandingkan dengan *absorber* plat datar pada kolektor yang sama^[4]. Pada penelitian ini digunakan *fin* untuk memberikan efek olakan tambahan pada aliran udara di bawah *absorber*.

II. URAIAN PENELITIAN

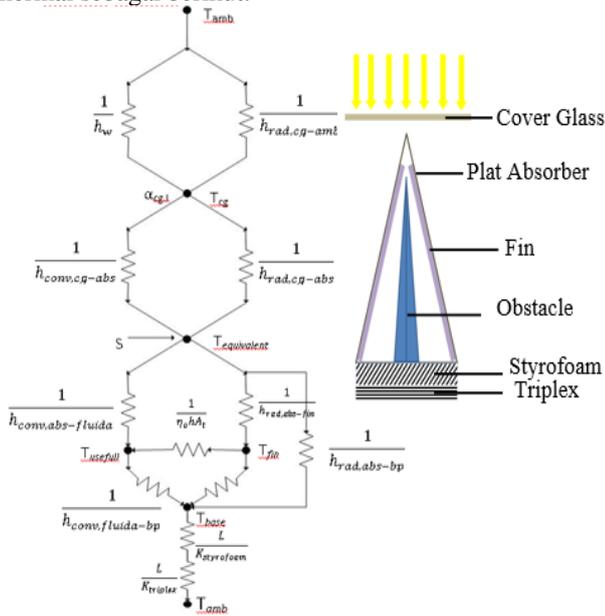
A. Kolektor Surya

Kolektor surya terdiri dari kaca penutup transparan, rangka, dan plat *absorber*. Radiasi matahari menembus kaca penutup dan diteruskan ke permukaan plat *absorber*. Kemudian plat *absorber* akan mengubahnya menjadi energi panas. Energi panas tersebut digunakan untuk menaikkan temperatur fluida kerja di dalam

saluran udara sehingga temperatur keluaran fluida kerja lebih tinggi daripada temperatur masukannya.

B. Tahanan Thermal pada Kolektor Surya

Secara umum, konsep perpindahan panas yang terjadi pada kolektor surya dapat digambarkan dengan tahanan thermal sebagai berikut:



Gambar 2.1 Skema V-corrugated solar collector dengan obstacle dan fin

C. Analisa Panas yang Berguna pada Kolektor Surya (Q_u)

Energi berguna berupa panas dari kolektor surya pemanas udara dengan plat absorber berbentuk-V dianalisa secara termodinamika (Q_{th}) dan energi surya (Q_{sol}) yang dijabarkan dalam persamaan berikut:

$$Q_{sol} = A_p \cdot F_R [S - U_L(T_{f,in} - T_{amb})] \tag{2.1}$$

atau

$$Q_{th} = \dot{m}Cp [T_{f,out} - T_{f,in}] \tag{2.2}$$

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

dengan:

- Q_{th} = energy berguna secara termodinamika (Watt)
- Q_{sol} = energy berguna secara energi surya/solar (Watt)
- A_p = luasan kolektor surya terpapar sinar matahari (m^2)
- S = radiasi matahari per satuan luas yang diserap (W/m^2)
- U_L = koefisien kehilangan panas total (W/m^2K)
- \dot{m} = laju aliran massa (kg/s)
- Cp = panas jenis fluida atau spesifik heat of fluid ($J/kg^{\circ}C$)
- $T_{f,in}$ = 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
- τ_{cg} = transmissivitas cover glass
- α_{abs} = absorpsivitas plat absorber
- I_T = Intensitas radiasi matahari (W/m^2)

D. Thermal Efisiensi Kolektor Surya (η)

Efisiensi dari kolektor surya pemanas udara dengan plat absorber berbentuk-V dijabarkan dalam persamaan di bawah ini:

$$\eta = \frac{Q_u}{A_c I_T} \times 100\% \tag{2.4}$$

dengan:

- η = Efisiensi kolektor surya
- Q_u = Energi berguna (Watt)
- A_p = Luasan efektif kolektor (m^2)
- I_T = Intensitas radiasi matahari (W/m^2)

E. Penurunan Tekanan pada Kolektor Surya

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 (diameter D , panjang saluran L , kekasaran permukaan e , kecepatan rata-rata aliran \bar{V} , massa jenis fluida ρ , dan viskositas fluida μ).

Dengan mengetahui penurunan tekanan selama udara mengalir melintasi kolektor surya sepanjang L dengan kecepatan udara v , dan aliran yang turbulen, maka koefisien friksi aliran dapat dicari dengan persamaan berikut:

$$f = \frac{\Delta P}{\frac{L}{D_h} \frac{\rho \bar{V}^2}{2}} \tag{2.5}$$

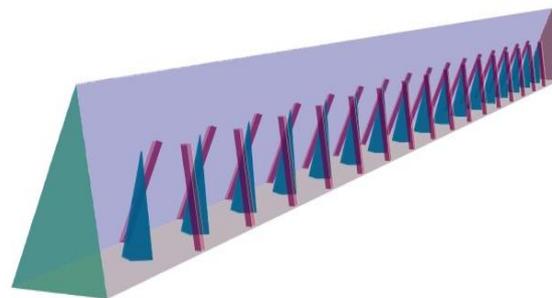
dengan:

- ΔP : Perbedaan tekanan antara inlet dan outlet (Pa)
- V : Kecepatan fluida (m/s)
- f : Koefisien friksi
- L : Panjang saluran (m)
- D_h : Diameter hidrolis (m)
- P : massa jenis fluida (kg/m^3)

III. METODE PENELITIAN

A. Pemodelan Kolektor Surya

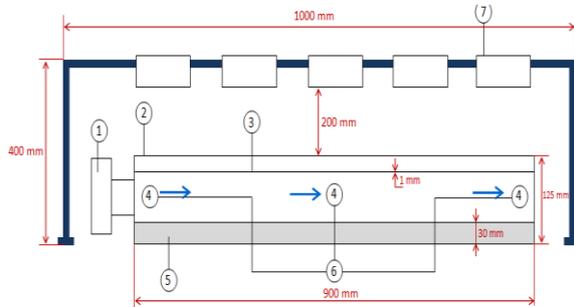
Sebelum melakukan eksperimen, dicari ketinggian dan jarak optimum *fin* dengan melakukan pemodelan menggunakan metode *Computational Fluid Dynamics (CFD)* didasarkan dengan dimensi kolektor surya yang akan diuji secara eksperimen (Lampiran 1). Penelitian ini difokuskan pada ketinggian dan susunan jarak *fin* yang optimal agar diperoleh peningkatan temperatur outlet dengan pressure drop yang rendah. Tinggi permukaan segitiga yang digunakan dalam penelitian ini divariasikan mulai dari 3mm, 4mm, dan 5 mm. Sedangkan variasi jarak *fin* didefinisikan sebagai letak *fin* terhadap jarak antara *obstacle* sepanjang ℓ , yaitu 0,25 ℓ ; 0,50 ℓ ; 0,75 ℓ ; dimana besar ℓ adalah 50 mm.



Gambar 3.1 Pemodelan Kolektor Surya dengan Penambahan *Obstacle* dan *Fin*

B. Pengujian Kolektor Surya

Skema peralatan yang digunakan dalam eksperimen, ditunjukkan pada gambar berikut:



Gambar 3.2 Skema peralatan V-corrugated solar air collector

Keterangan:

- 1 : Blower
- 2 : Kaca penutup
- 3 : Plat absorber
- 4 : Thermocouple
- 5 : Isolator
- 6 : Thermocouple display
- 7 : Lampu halogen
- 8 : Pressure gage

Dalam studi eksperimental ini kolektor surya akan diuji dengan variabel pengujian berupa *mass flow rate* (laju aliran massa) yang berasal dari *blower* dengan mengatur kecepatan *inlet* sebesar 0,002 kg/s; 0,004 kg/s; 0,006 kg/s; 0,008 kg/s dan intensitas lampu halogen sebagai pengganti radiasi matahari sebesar 431 Watt/m²; 575 Watt/m²; 719 Watt/m².

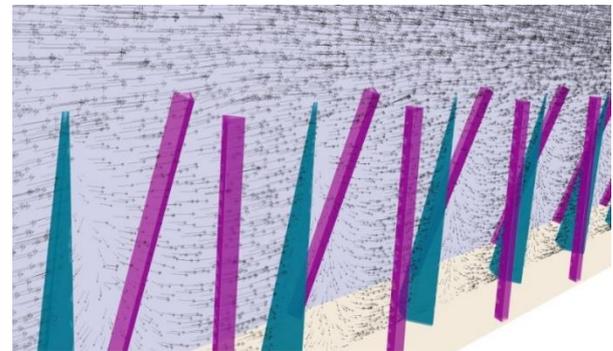
IV. ANALISA DAN PEMBAHASAN

Pada pemodelan kolektor surya, dicari fin paling optimum dengan $\Delta T = \frac{|\Delta T_{fin} - \Delta T_{tanpa fin}|}{\Delta P} = \frac{|\Delta P_{fin} - \Delta P_{tanpa fin}|}{\Delta P_{tanpa fin}}$ atau yang disebut *R* dengan nilai terkecil. Simulasi dilakukan dengan menggunakan intensitas cahaya sebesar 430 Watt/m² dengan kecepatan fluida masuk sebesar 6,5 m/s. Keluaran yang didapat dari simulasi ini adalah peningkatan temperatur dan penurunan tekanan yang ditabelkan sebagai berikut

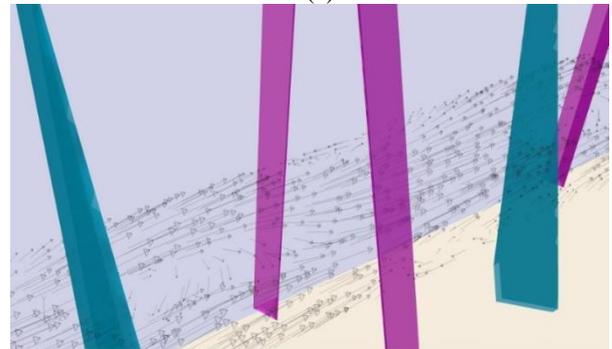
TABEL 4.1 PERBEDAAN TEMPERATURE DAN TEKANAN HASIL SIMULASI PADA SEMUA VARIASI FIN

Variasi Fin	L	ΔP (Pa)	ΔT (K)	Rasio ΔP	Rasio ΔT	Rasio ΔP/ΔT
3	0,25	531,75	8,94	1,67	0,03	48,55
	0,5	479,99	8,91	1,41	0,04	37,07
	0,75	487,47	8,93	1,45	0,04	40,16
4	0,25	706,76	9,19	2,56	0,01	321,34
	0,5	634,35	9,16	2,19	0,01	210,40
	0,75	655,68	9,14	2,30	0,01	183,93
5	0,25	951,14	9,66	3,79	0,04	87,18
	0,5	863,28	9,47	3,34	0,02	150,13
	0,75	890,81	9,46	3,48	0,02	161,53
Tanpa Fin		198,72	9,26			

Setelah dilakukan simulasi pada semua variasi tersebut, didapatkan hasil bahwa fin dengan tinggi segitiga 3 mm dan jarak fin terhadap obstacle 0,50L adalah fin paling optimal dengan nilai $\Delta P/\Delta T = 37,067$.



(a)

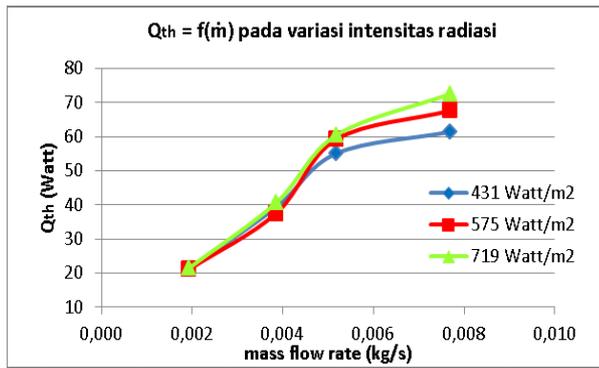


(b)

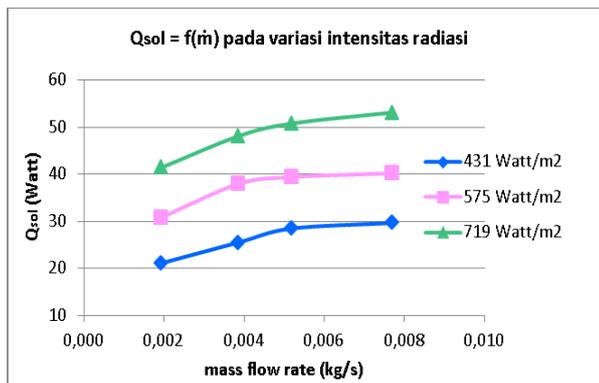
Gambar 4.1 Vektor Kecepatan pada Simulasi Fin dengan ketebalan 3mm dan jarak terhadap obstacle 0,50L (a) pada x=0.015 (b) pada y=0.02

Dari Gambar 4.1 vektor kecepatan pada fin dengan ketebalan 3mm, jarak 0,50L menghasilkan olakan terhadap aliran dibagian belakang obstacle dan fin. Pada Gambar 4.1(a) vektor kecepatan yang ditunjukkan berada pada sumbu x=0.015, sebelum melintasi obstacle vektor kecepatan berbentuk panah searah sumbu z, namun setelah mengenai obstacle, vektor kecepatan tersebut mengarah ke sumbu y dan berbalik arah ke sumbu z negatif. Pada Gambar 4.1(b) vektor kecepatan aliran pada sumbu y=0.02, sama seperti gambar sebelumnya terlihat bahwa terjadi aliran balik dari vektor kecepatan setelah mengenai obstacle, begitu juga yang terjadi di bagian belakang fin sebelah kiri dan kanan terdapat aliran balik ke arah sumbu z negatif. Aliran balik tersebut mengakibatkan turbulensi pada fluida kerja, sehingga dapat memperbesar nilai *Reynolds Number* dimana nilai *Re* berbanding lurus dengan koefisien perpindahan panas. Semakin besar turbulensi yang dihasilkan maka akan semakin besar juga kenaikan temperatur yang didapatkan, namun penurunan tekanannya juga akan semakin besar. Oleh karena itu, pemilihan fin didasarkan pada rasio perbandingan antara penurunan tekanan terhadap peningkatan temperatur. Rasio yang diharapkan yakni dengan nilai terkecil berdasarkan penurunan tekanan terkecil dan peningkatan temperatur terbesar. Dengan demikian fin paling optimum dari hasil simulasi tersebut dibuat dan diuji secara eksperimen dengan variasi laju aliran massa blower dan intensitas radiasi lampu halogen yang telah ditentukan. Data yang diperoleh dari eksperimen yaitu $V_f, I_T, T_{cg}, T_{abs}, T_{amb}, T_{f,out}, T_{f,in}, T_{base}, T_{iso}, T_{fin}$.

C. Analisa Energi Berguna Terhadap Variasi Intensitas Radiasi dan Laju Aliran Massa



Gambar 4.2 Grafik perbandingan Qusefull thermo terhadap laju aliran massa



Gambar 4.3 Grafik perbandingan Qusefull energi surya terhadap laju aliran massa

Pengertian dari energi berguna (Q_u) adalah besarnya panas yang diserap oleh fluida kerja untuk meningkatkan temperatur keluar. Q_u yang dihasilkan akan ditinjau secara termodinamika (thermo) dan energi surya (solar). Berdasarkan grafik pada Gambar 4.2 terlihat bahwa tren grafik Q_{th} berubah terhadap besarnya laju aliran massa yang diberikan, semakin besar laju aliran massa yang diberikan maka nilai Q_{sol} juga akan semakin tinggi, begitu pula dengan besar intensitas radiasi yang diberikan. Hal ini sesuai dengan rumus $Q_{th} = \dot{m}_f \times C_p \times (T_{f,out} - T_{f,in})$.

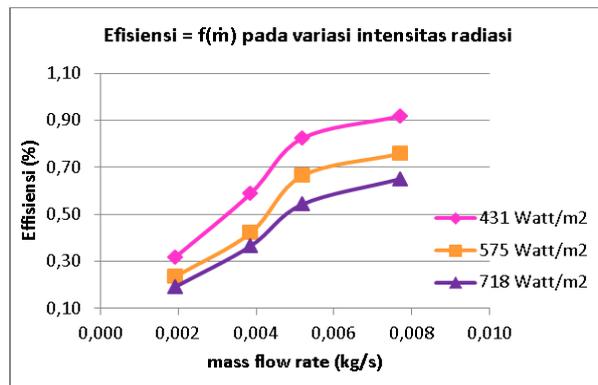
Nilai Q_{th} paling tinggi dihasilkan pada laju aliran massa sebesar 0,008 kg/s dengan intensitas radiasi paling tinggi, 719 Watt/m² yakni 72,67 Watt. Namun pada grafik Q_{sol} , nilai paling tinggi pada laju aliran massa sebesar 0,008 kg/s dengan intensitas yang sama yakni 53,16 Watt. Hal ini disebabkan oleh perhitungan Q_{th} hanya dipengaruhi oleh besar laju aliran massa dan beda temperatur yang dihasilkan. Pada intensitas yang sama, semakin kecil laju aliran massa yang dialirkan dalam kolektor surya maka semakin mudah fluida tersebut untuk menyerap panas dan menghasilkan beda temperatur yang besar.

Pada grafik Q_{sol} , tren grafik cenderung naik seiring bertambahnya laju aliran massa pada semua intensitas radiasi. Rumus $Q_{sol} = A_p \cdot F_R [S - U_L (T_{f,in} - T_{amb})]$ menunjukkan bahwa besar Q_{sol} dipengaruhi oleh besar intensitas yang diterima dan Q_{loss} , ($Q_{loss} = A_p \cdot [U_T (T_{abs} - T_{amb})]$), atau energi yang hilang. A_p adalah luasan efektif plat penyerap. T_{abs} adalah temperatur plat absorber. T_{amb} adalah temperatur sekitar. Jika perumusan U_T dijabarkan maka, nilainya bergantung

pada koefisien konveksi dan radiasi pada plat penyerap dan cover glass, dimana $U_T = \frac{1}{R_{t,up} \cdot A_p}$, dan

$$R_{t,up} = \frac{1}{h_w} + \frac{1}{h_{r,cg-amb}} + \frac{1}{h_{conv,cg-abs}} + \frac{1}{h_{r,cg-abs}}$$

D. Analisa Efisiensi Terhadap Variasi Intensitas Radiasi dan Laju Aliran Massa

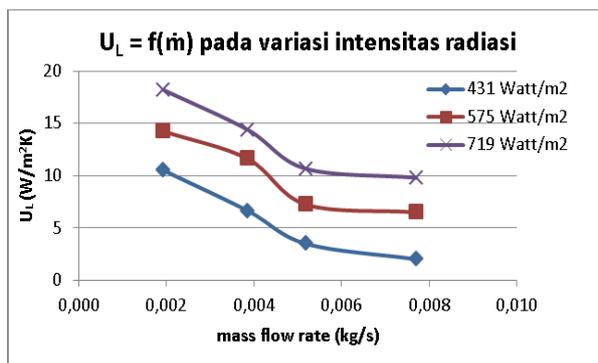


Gambar 4.4 Grafik perbandingan Efisiensi terhadap laju aliran massa

Berdasarkan Gambar 4.4 dapat dilihat bahwa tren grafik perbandingan efisiensi terhadap laju aliran massa terus meningkat seiring dengan bertambahnya laju aliran massa. Efisiensi merupakan perbandingan antara energi yang berguna dengan energi yang masuk. Nilai efisiensi ini menunjukkan baik atau tidaknya kolektor surya yang diuji dalam mentransfer energi panas ke fluida kerja yang berupa udara. Efisiensi tertinggi sebesar 0,92 dicapai pada laju aliran massa 0,008 kg/s dengan intensitas 431 Watt/m².

Besar efisiensi berbanding lurus dengan kalor yang diterima udara dan berbanding terbalik dengan radiasi yang diterima plat absorber. Hal ini sesuai dengan rumus $\eta = \frac{Q_{th}}{A_p \cdot I_T}$ sehingga tren grafik naik. Efisiensi desain paling tinggi terjadi pada variasi intensitas paling rendah, yaitu 431 Watt/m². Sebaliknya, efisiensi paling rendah terjadi pada variasi intensitas paling tinggi, yaitu 719 Watt/m². Penjelasan dari fenomena ini adalah berdasarkan perumusan efisiensi jika dijabarkan yakni $\eta = 1 - \frac{Q_{loss}}{A_p \cdot I_T}$ dimana $Q_{loss} = A_p \cdot [U_T (T_{abs} - T_{amb})]$, atau energi yang hilang, semakin kecil intensitas radiasi maka beda temperatur plat penyerap dan udara sekitar semakin kecil pula. Dengan demikian efisiensi yang dihasilkan akan besar saat intensitas rendah.

E. Analisa Koefisien Perpindahan Panas Terhadap Laju Aliran Massa



Gambar 4.5 Grafik perbandingan U_L terhadap laju aliran massa

Trendline Grafik perbandingan U_L terhadap laju aliran massa pada semua variasi intensitas menunjukkan penurunan. Berdasarkan Gambar 4.5 besarnya nilai U_L

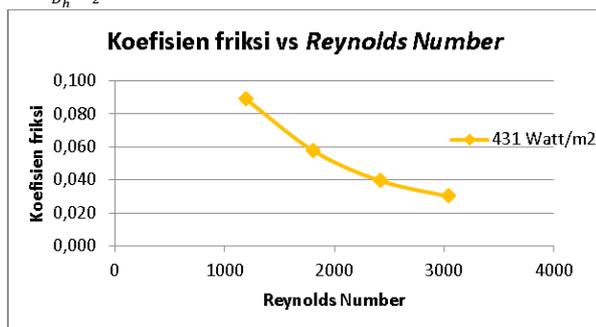
berbanding terbalik dengan laju aliran massa, namun berbanding lurus dengan intensitas radiasi yang diterima. Nilai U_L tertinggi dicapai pada laju aliran massa 0,002 kg/s dengan intensitas radiasi 719 Watt/m² sebesar 18,21 Watt/m²K sedangkan nilai U_L terendah dicapai pada laju aliran massa 0,008 kg/s dengan intensitas radiasi 431 Watt/m² yaitu 2,02 Watt/m²K.

Berdasarkan rumus $U_L = U_T + U_B$, besarnya nilai U_L dipengaruhi oleh U_T dan U_B , namun nilai dari U_T memiliki pengaruh yang lebih besar dibandingkan nilai U_B yang konstan pada semua intensitas radiasi dan laju aliran massa. Semakin besar intensitas radiasi yang diberikan ke kolektor surya akan mengakibatkan temperatur plat *absorber* lebih tinggi dibandingkan ketika menerima intensitas yang lebih rendah. Semakin tinggi temperatur plat *absorber*, maka akan semakin besar selisihnya dengan temperatur sekitar. Hal ini menyebabkan U_T yang dihasilkan lebih besar pada intensitas radiasi yang tinggi dan laju aliran massa yang rendah.

F. Analisa Penurunan Tekanan Terhadap Laju Aliran Massa

Pada eksperimen yang dilakukan, penurunan tekanan diukur dengan menggunakan *differential magnetic pressure gage*. Penurunan tekanan dihasilkan dari gaya gesek pada fluida yang mengalir dalam saluran dan dipengaruhi oleh kecepatan aliran. Penurunan tekanan diukur selama proses pemanasan pada tiap variasi *Reynolds Number*. Selanjutnya, dengan mengetahui panjang saluran udara (L), dan kecepatan udara (v), koefisien friksi aliran dapat dicari dengan persamaan,

$$f = \frac{\Delta P}{\frac{L}{D_h} \rho \frac{v^2}{2}}$$



Gambar 4.6 Grafik perbandingan Koefisien friksi terhadap Reynolds Number

Berikut adalah grafik koefisien friksi aliran (f) terhadap *Reynolds Number* pada intensitas 431 Watt/m². Trendline grafik koefisien friksi menurun seiring kenaikan nilai *Reynolds Number*, hal ini memiliki kecenderungan trendline yang mirip dengan *Moody diagram* (*Introduction to fluid mechanics*, Fox)^[5]. Koefisien friksi tertinggi dicapai pada *Reynolds Number* 1200,19 dan mencapai terendah pada *Reynolds Number* 3043,68.

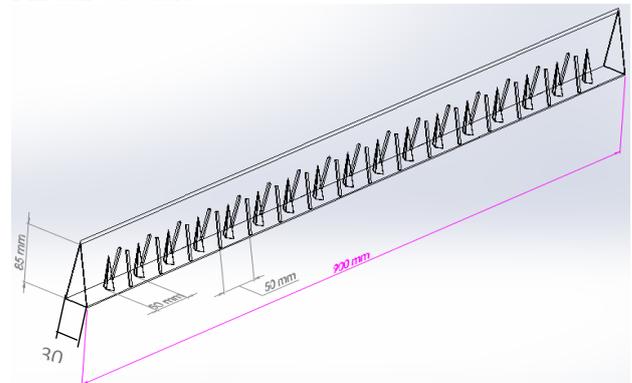
Besarnya bilangan *Reynolds* sebanding dengan kecepatan aliran fluida (V). Saat aliran dalam kategori laminar, nilai koefisien gesek dipengaruhi oleh *Reynolds Number* dan kekasaran permukaan saluran (roughness, e/D). Maka semakin besar *Reynolds Number* mengakibatkan semakin kecil nilai koefisien gesek. Sedangkan, saat aliran dalam kategori turbulen, nilai f cenderung konstan terhadap kenaikan *Reynolds Number*.

V. KESIMPULAN/RINGKASAN

Dari penelitian yang telah dilakukan pada kolektor surya *v-corrugated absorber plate* dengan penambahan *obstacle* dan *fin* berbentuk prisma segitiga didapatkan kesimpulan bahwa penambahan *fin* dapat meningkatkan efisiensi perpindahan panas. Berdasarkan hasil simulasi numerik, *fin* berbentuk prisma segitiga yang paling optimum adalah *fin* dengan ketebalan 3mm dan jarak terhadap *obstacle* sebesar 0.5l dengan beda temperatur 8,91 K dan penurunan tekanan sebesar 479,99 Pa. Dari hasil eksperimen, didapatkan kesimpulan bahwa besarnya energi berguna (Q_u) berbanding lurus dengan laju aliran massa dan intensitas radiasi. Q_{th} paling tinggi pada laju aliran massa sebesar 0.008 kg/s dengan intensitas radiasi 719 Watt/m² yakni 72,67 Watt. Sedangkan Q_{th} paling rendah pada laju aliran massa sebesar 0.002 kg/s dengan intensitas radiasi 431 Watt/m² yakni 21,32 Watt. Sedangkan efisiensi berbanding lurus dengan laju aliran massa namun berbanding terbalik dengan intensitas radiasi. Efisiensi paling tinggi yakni 91,77% dicapai pada laju aliran massa 0,008 kg/s dengan intensitas radiasi sebesar 431 Watt/m² dan efisiensi paling rendah yakni 19,23% dicapai pada laju aliran massa 0,002 kg/s dengan intensitas radiasi sebesar 719 Watt/m².

LAMPIRAN

Lampiran 1: Dimensi Saluran Kolektor Surya dengan Fin dan Obstacle



UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Institut Teknologi Sepuluh Nopember yang telah memberikan dukungan fasilitas demi menunjang pelaksanaan penelitian. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada Prof. Dr. Ir. Djatmiko Ichani, M.Eng yang telah membimbing penulis dalam melakukan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Priyanto, Unggul. 2015. *Outlook Energi Indonesia*. Jakarta: Pusat Pengembangan Sumber Daya Energi.
- [2] 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.
- [3] A. Abene, V. Dubois, M. Le Ray, A. Ouagued, 2003. Study of a Solar Air Plate Collector: Use of Obstacles and Application for Drying of Grape. *Journal of Food Engineering* 65(2004) 15-22.
- [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] Fox, Robert W., Alan T. McDonald, Philip J. Pritchard. 2004. *Introduction to Fluid Mechanics*. Sixth Edition. USA: John Wiley and Sons Inc.
- [6] Incropera, Frank.P., David P. Dewitt, Theodore L. Bergman, Adrienne S. Lavine. 2011. *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*. Seventh Edition. New York: John Wiley and Sons Inc.
- [7] Duffie, J.A. and W.A. Beckman. 1991. *Solar Engineering of Thermal Processes*. Second Edition. New York: John Wiley and Sons Inc.