

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

Fajar Sri Lestari Pangukir dan Djatmiko Ichsani

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 fosil termasuk energi yang tidak dapat diperbarui sehingga keberadaannya lama kelamaan akan habis. Energi surya termasuk energi terbarukan yang mudah didapat dan ramah lingkungan terutama Indonesia. Energi ini dapat dikonversi menjadi energi termal menggunakan kolektor surya. Kolektor surya (solar collector) merupakan alat yang memanfaatkan energi radiasi matahari untuk diserap oleh plat penyerap selanjutnya dipindahkan ke fluida kerja yakni udara atau air. Untuk meningkatkan efisiensi termal kolektor surya dengan meningkatkan koefisien konveksi, turbulensi aliran di dalam duct kolektor surya. Hal ini dapat dicapai dengan memberikan gangguan aliran berupa obstacle dan fin agar memperluas area perpindahan panas. Pemilihan diameter fin yakni 6,8,10 mm berbentuk setengah silinder serta jarak fin terhadap obstacle yakni 0,25L; 0,5L; 0,75L dilakukan dengan metode simulasi numerik menggunakan software Fluent 6.3.26 dan software GAMBIT 2.4.6. Hasil permodelan didapatkan diameter fin 6 mm dan jarak 0,5L paling optimum selanjutnya dilakukan studi eksperimen untuk menguji pengaruh fin terhadap performansi dan efisiensi kolektor surya. V corrugated absorber plate, obstacle berbentuk segitiga dengan sudut tekuk 30°. Pengambilan data eksperimen dilakukan dengan bervariasi laju aliran massa dari 0,002 kg/s hingga 0,008 kg/s dengan kenaikan tiap 0,002 kg/s dan intensitas radiasi yakni 431 Watt/m² dan 575 Watt/m². Hasil yang didapatkan dari penelitian tugas akhir ini adalah nilai energi berguna yang dihasilkan (Q) paling tinggi dihasilkan pada laju aliran massa sebesar 0,006 kg/s dengan intensitas radiasi 575 Watt/m² yakni 68,331 Watt dan efisiensi paling ditinggi yakni 0,867 pada 0,006 kg/s dengan intensitas radiasi sebesar 431 Watt/m² dan penurunan tekanan sebesar 29 Pascal.

Kata Kunci—energi berguna, efisiensi, kolektor surya, v corrugated plate absorber.

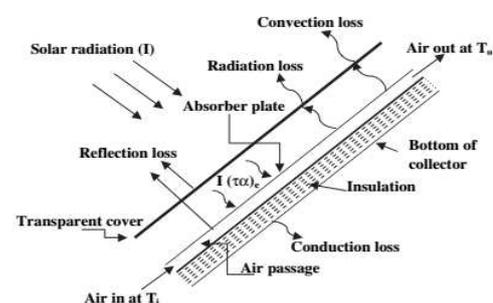
I. PENDAHULUAN

Energi menjadi bagian vital dalam kehidupan manusia. Kebutuhan energi meningkat seiring dengan meningkatnya jumlah populasi manusia. Sumber energi paling banyak digunakan oleh manusia adalah

energi fosil meliputi minyak bumi, batu bara dan gas. Menurut ESDM [1], konsumsi jenis energi Indonesia antara lain batubara, gas bumi, bahan bakar minyak (BBM), *Liquified Petroleum Gas* (LPG), dan listrik. Konsumsi BBM memiliki porsi terbanyak dari kebutuhan total energi yakni 48% pada akhir 2013. Energi fosil termasuk energi yang tidak dapat diperbarui sehingga keberadaannya lama kelamaan akan habis.

Ketersediaan energi elektromagnetik dari surya (matahari) di Indonesia cukup melimpah. Energi surya termasuk energi terbarukan yang mudah didapat dan ramah lingkungan terutama pada negara yang terletak pada garis khatulistiwa, Indonesia, dengan intensitas radiasi matahari rata-rata sekitar 5,6 kWh per meter persegi per hari. Energi ini dapat dikonversi menjadi energi termal menggunakan kolektor surya. Energi termal dapat dimanfaatkan untuk proses pengeringan misalnya pengeringan hasil pertanian, ikan, dan lain-lain.

Kolektor surya (*solar collector*) merupakan alat yang memanfaatkan energi radiasi matahari untuk diserap oleh plat penyerap selanjutnya dipindahkan ke fluida kerja. Fluida kerja pada kolektor surya dapat berupa air atau udara. Menurut Frank dan DeWitt [2], koefisien perpindahan kalor konveksi gas lebih rendah dari cairan sehingga efisiensi kolektor surya pemanas udara cenderung rendah. Secara umum, bentuk kolektor surya untuk pemanas udara terdiri dari plat penyerap yang berfungsi untuk menyerap radiasi matahari, *duct* sebagai saluran tempat udara mengalir, kaca penutup dan blower untuk mengalirkan udara.



Gambar 1. Skema kolektor surya pemanas udara konvensional

Upaya untuk meningkatkan koefisien perpindahan panas pada kolektor surya adalah dengan mengganti plat penyerap yang umumnya plat datar dengan plat bergelombang atau *v-corrugated absorber plate* [3]. Menurut El Sebaii [4], *v-corrugated absorber plate* mempunyai efisiensi 11-14% lebih tinggi dari plat datar.

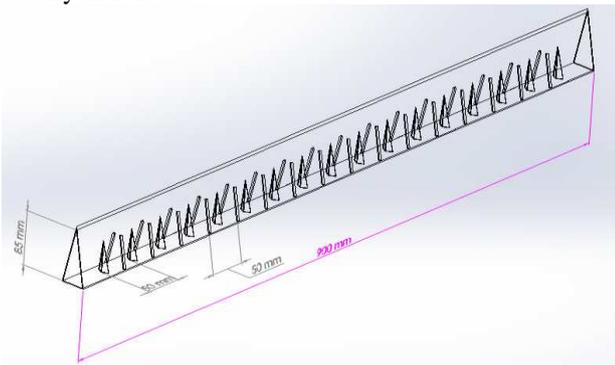
Upaya peningkatan koefisien konveksi dengan meningkatkan turbulensi aliran dalam plat penyerap adalah gabungan *v-corrugated absorber plate* ditambahkan *obstacles* yang ditekuk vertikal dengan sudut 300 [4]. Hasil yang didapatkan bahwa sudut tekuk optimal pada sudut 30⁰ memberikan rasio penurunan tekanan dibanding efisiensi yang paling tinggi ($\Delta P/\Delta Eff$). Penggunaan *v-corrugated absorber plate* dan penambahan *obstacle* terbukti dapat koefisien perpindahan panas kolektor surya. Pada penelitian ini upaya peningkatan efisiensi kolektor surya dilakukan dengan penambahan fin sebagai *extended surface* pada kolektor berbentuk V dengan penggunaan *obstacle*.

II. URAIAN PENELITIAN

A. Penelitian Numerik

Penelitian yang dilakukan pada kolektor surya *v-corrugated* dengan *obstacle* berbentuk paruh dengan sudut paruh 30⁰ dan *fin* berbentuk setengah silinder. Diameter silinder yang digunakan dalam penelitian ini divariasikan mulai dari 6 mm, 8 mm, dan 10 mm. Jarak *fin* terhadap *obstacle* dalam penelitian ini divariasikan mulai 0,25L; 0,5L; 0,75L. L adalah jarak antar *obstacle*, yakni 50 mm. Penelitian numerik dilakukan dengan menggunakan metode *Computational Fluid Dynamics (CFD)* dengan *software* Fluent 6.3.26 dan *software* GAMBIT 2.4.6. Pembuatan geometri awal model yang akan dibuat selanjutnya dilakukan diskritisasi (*meshing*) pada model. Tahap pertama yakni *pre-processing* menggunakan *software* GAMBIT 2.4.6.

Bentuk geometri yang digunakan dalam studi numerik beserta dimensinya dapat dilihat pada Gambar 2. Sudut plat penyerap adalah 20° dengan dimensi panjang 900 mm dan dimensi saluran masuk berupa segitiga dengan tinggi 85 mm dan lebar 30 mm. *Obstacle* berbentuk segitiga dengan dimensi lebar alas 18 mm dan tinggi 50 mm. *Obstacle* diletakkan masing-masing berjarak 50 mm maka terdapat 17 *obstacle* sepanjang saluran. Selanjutnya membuat domain dan merancang *mesh*. Konfigurasi *mesh* yang digunakan terdiri dari jumlah *cell* sebanyak 786.18, jumlah *face* 1.654.940, dan jumlah *node* sebanyak 172.405.



Gambar 2. Model *V-corrugated absorber* sudut 20°

Pengaturan meliputi simulasi 3 dimensi, *double precision*, model *viscous Shear Stress Transport K- ω* (SSTK ω), material plat *absorber*, *obstacle*, dan *fin*

adalah aluminium, model *dicretization equation* menggunakan *first order scheme* dan hubungan kecepatan dan tekanan menggunakan *SIMPLEC*. Plat penyerap, *fin*, *obstacle*, dan plat penyerap bawah digunakan *boundary conditions wall*. *Inlet* didefinisikan sebagai *velocity inlet*, dan *outflow* untuk bagian *outlet*. Plat penyerap dan fin dikondisikan *Heat Flux* sebesar 431 Watt/m², plat penyerap bawah dan *obstacle* diatur *temperature constant* sebesar 310 K. Aliran *free stream* udara masuk saluran dengan kecepatan 6,5 m/s, temperatur 300 K.

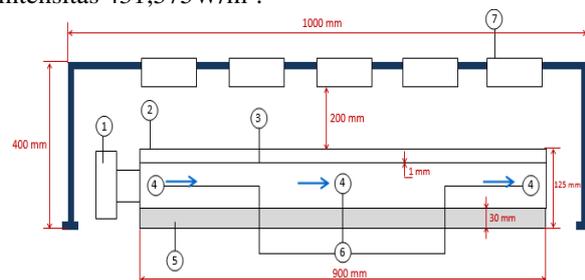
Hasil simulasi yang digunakan meliputi kenaikan temperatur udara keluar dan penurunan tekanan udara dalam saluran. Selanjutnya pemilihan fin paling optimum digunakan rumus rasio secara matematis

$$\left| \frac{\Delta T_{fin} - \Delta T_{tanpa fin}}{\Delta T_{tanpa fin}} \right| / \left| \frac{\Delta P_{fin} - \Delta P_{tanpa fin}}{\Delta P_{tanpa fin}} \right| \quad (1)$$

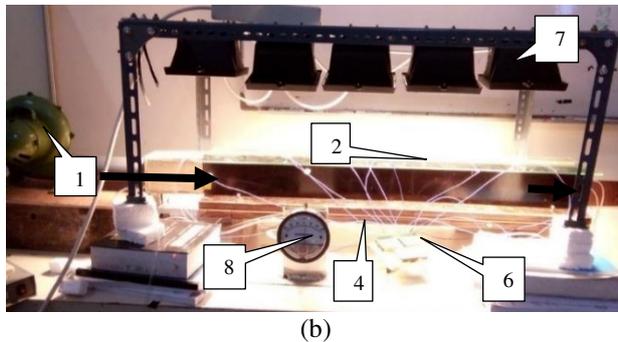
dengan ΔT adalah perbedaan temperatur keluar dan masuk, $T_{out} - T_{in}$. ΔP adalah penurunan tekanan masuk dan keluar, $P_{in} - P_{out}$. Rasio dibandingkan dengan hasil simulasi kolektor surya tanpa *fin*. Rasio paling besar adalah *fin* paling optimum.

B. Penelitian Eksperimen

Test section yang digunakan untuk eksperimen berdasarkan hasil *fin* optimum simulasi. Penelitian ini dilakukan dalam ruangan Laboratorium Termodinamika dan Perpindahan Panas, Jurusan Teknik Mesin ITS, Surabaya. 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 agar seragam. *Pyranometer* (S 97048.32 ML-020 VM, Eko Instrument Trading Co Ltd Jepang) digunakan untuk mengetahui besar intensitas yang diterima kolektor surya dipasang pada permukaan kaca penutup. Kolektor yang dipakai dilengkapi dengan enam belas termokopel tipe K mengukur temperatur udara masuk dan ke luar, kaca penutup, plat penyerap, *fin*, *obstacle*, plat penyerap bawah di tiga lokasi berbeda. Penurunan tekanan antara udara masuk dan keluar kolektor diukur dengan *magnehelic differential pressure gage* (Tipe 2300, Dwyer) dengan ketelitian 2 Pa. Suatu *blower* tekan (diameter *discharge* 2,5 inci, 0,26 kW, 320 Volt input). Laju aliran udara diukur di keluaran dengan anemometer digital (AR816, Smart Sensor). Laju udara yang mengalir diatur dengan mengubah frekuensi putaran motor dengan *inverter*. Variasi kecepatan udara digunakan aliran turbulen yakni 2,6 m/s (Re 4000); 3,9 m/s (Re 6000); 5,2 m/s (Re 8000) dan 6,5 m/s (Re 10000) dan variasi intensitas 431;575W/m².



(a)



Gambar 3. (a) Skema alat dan (b) foto eksperimen

Keterangan

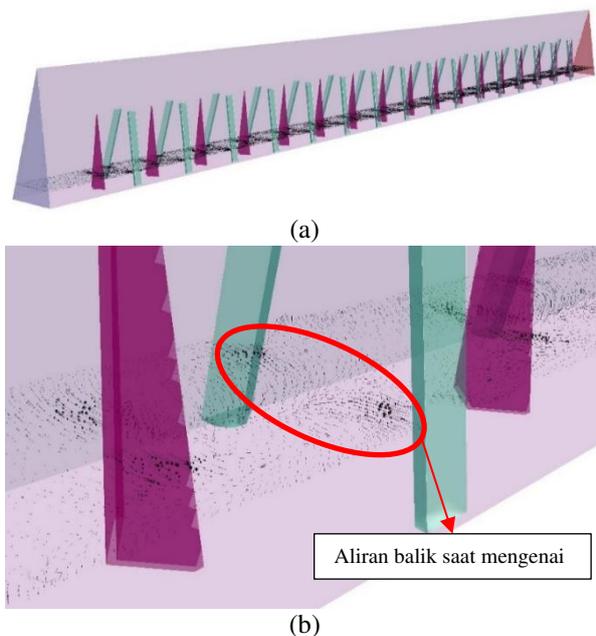
- 1 : Blower dan udara masuk
- 2 : Tempered Glass
- 3 : Plat absorber
- 4 : Thermocouple
- 5 : Isolator
- 6 : Thermocouple multiplex
- 7 : Lampu halogen
- 8 : Pressure gage

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

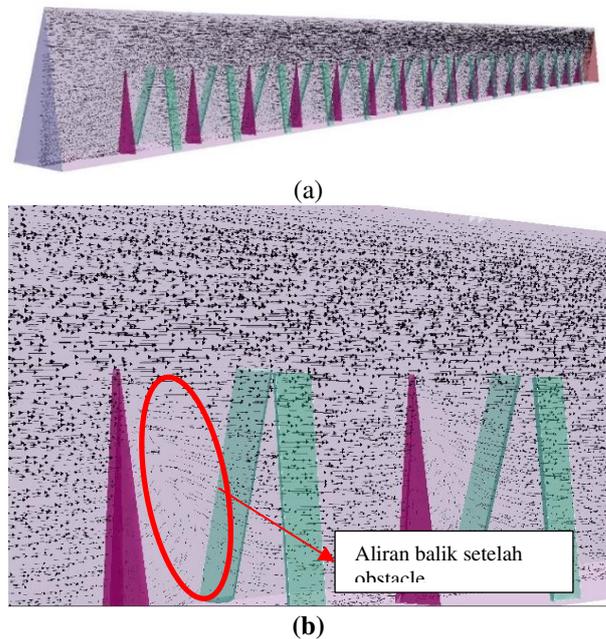
A. Simulasi Numerik

Berdasarkan hasil simulasi, *fin* dengan diameter 10 mm pada jarak 0,25L memberikan perbedaan temperatur paling tinggi yakni 9,175 K. Sedangkan, *fin* berdiameter 6 mm pada jarak 0,5L memberikan perbedaan temperatur paling rendah, 8,809 K. Penggunaan diameter *fin* semakin besar mengakibatkan peningkatan luas area perpindahan panas selanjutnya akan meningkatkan temperatur keluar.

Gambar 4(a) menunjukkan vektor kecepatan fluida yang dilihat searah sumbu Z dengan *iso value* 0,01 m pada sumbu Y. Pada Gambar 4(b) terdapat aliran balik akibat fluida mengenai *fin* dan *obstacle*. Arah aliran mendekati plat penyerap setelah mengenai *obstacle* selanjutnya mengenai *fin*. Semakin tinggi laju aliran pada sisi plat penyerap dapat meningkatkan temperatur rata-rata aliran udara.



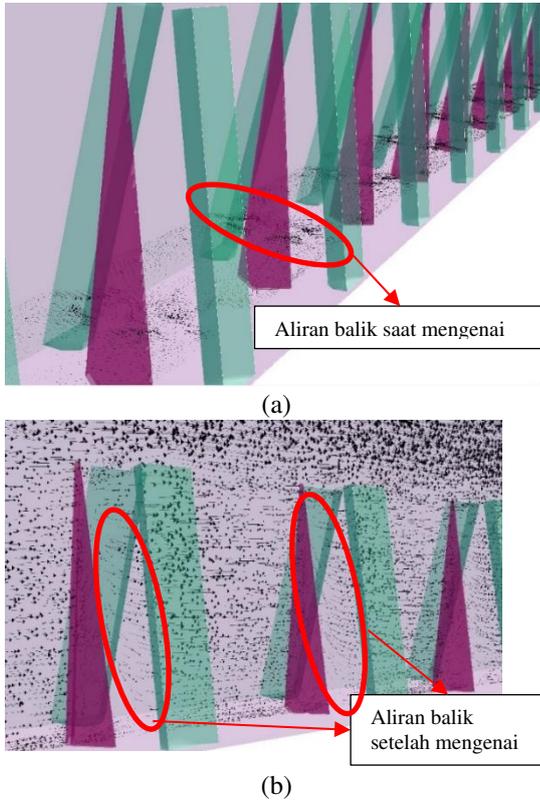
Gambar 4. (a) Vektor kecepatan menggunakan *iso surface* pada Y coordinate 0,01 m pada *fin* berdiameter 6 mm dengan jarak *obstacle* 0,5L (b) Perbesaran vektor kecepatan



Gambar 5. (a) Vektor kecepatan menggunakan *iso surface* pada X coordinate 0,015 m pada *fin* berdiameter 6mm dengan jarak *obstacle* 0,5L (b) Perbesaran vektor kecepatan

Gambar 5(a) menunjukkan vektor kecepatan fluida pada *iso surface X coordinate* dengan *iso value* 0,015 m. Gambar 5 (b) menunjukkan aliran balik akibat aliran mengenai *obstacle*. *Obstacle* berguna sebagai *vortex generator* yang mampu mengarahkan aliran dan meningkatkan olakan. *Vortex* merupakan ciri bahwa aliran menjadi turbulen. Ketika aliran 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.

Gambar 6 menunjukkan adanya aliran balik setelah mengenai *obstacle* dan *fin*. Jarak *fin* yang semakin dekat dengan *obstacle* menghasilkan olakan yang cukup besar. Aliran udara yang masuk pertama-tama mengenai *obstacle* selanjutnya mengenai *fin* yang berada 0,25L (12,5 mm dibelakang *obstacle*). Sedangkan, jarak *fin* sebesar 0,5L (25 mm dibelakang *obstacle*) menghasilkan olakan yang lebih sedikit dibanding jarak 0,25L. Jadi *fin* berdiameter 10 mm pada jarak 0,25L menghasilkan peningkatan temperatur paling besar karena *vortex* paling besar dan luas area perpindahan yang lebih besar dibandingkan *fin* diameter 6 mm. Penurunan tekanan paling kecil pada *fin* berdiameter 6 mm pada jarak 0,5L sedangkan paling besar pada *fin* berdiameter 10 mm pada jarak 0,25L. Aliran fluida yang diganggu dengan *obstacle* dan *fin* mengakibatkan adanya penurunan kecepatan aliran secara mendadak dan selanjutnya mengakibatkan adanya aliran balik. Semakin besar aliran balik yang dihasilkan maka akan merugikan karena mengakibatkan *pressure drop* yang besar pula. Besarnya penurunan tekanan akan mempengaruhi daya blower yang digunakan.



Gambar 6 Vektor kecepatan menggunakan *iso surface* pada Y coordinate 0,01 m (b) Vektor kecepatan menggunakan *iso surface* pada X coordinate 0.015 m pada *fin* berdiameter 6mm dengan jarak *obstacle* 0.5L

Hasil perhitungan rasio total yakni diameter *fin* 6mm dengan jarak 0,5L memiliki nilai paling tinggi yakni sebesar 0,022. Diameter 6mm dengan jarak 0,5L dianggap sebagai *fin* paling optimum karena vortex yang dihasilkan cukup besar serta vektor kecepatan lebih tinggi pada sisi plat penyerap sehingga temperatur rata-rata aliran udara lebih tinggi serta penurunan tekanan yang paling kecil.

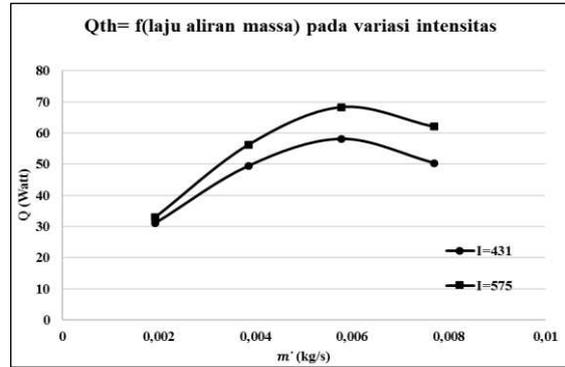
B. Hasil Eksperimen

Dari data eksperimen, perhitungan dilakukan untuk menghitung energi berguna dan efisiensi kolektor surya. 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_{th}) dan energi surya (Q_{sol}).

Berdasarkan grafik pada gambar 7 dapat kita lihat bahwa tren grafik Q_{th} berubah terhadap besarnya laju aliran massa yang diberikan, semakin besar laju aliran massa yang diberikan maka nilai Q_{th} juga akan semakin tinggi, begitu pula dengan besar intensitas radiasi yang diberikan. Hal ini sesuai dengan rumus

$$Q_{th} = \dot{m}_f \times C_p \times (T_{f,out} - T_{f,in}) \tag{2}$$

dimana Q_{th} adalah energi berguna termodinamika (watt), \dot{m}_f adalah laju aliran massa (kg/s), C_p adalah panas jenis fluida (J/Kg.°K), $T_{f,out}$ adalah temperatur udara keluar (K), dan $T_{f,in}$ adalah temperatur udara masuk (K).



Gambar 7. Grafik energi berguna termo fungsi laju aliran massa pada variasi intensitas radiasi

Pada grafik Q_{th} , nilai paling tinggi dihasilkan pada laju aliran massa sebesar 0,006 kg/s dengan intensitas radiasi paling tinggi yakni, 575 Watt/m² yakni 63,331 Watt. Hal ini terjadi karena perhitungan Q_{th} 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. Ketika beda temperatur yang dihasilkan besar tetapi laju aliran massa kecil maka nilai Q_{th} yang didapatkan kecil. Namun pada laju aliran massa 0,008 kg/s, Q_{th} yang didapatkan menurun. Dari grafik diatas, 0,006 kg/s adalah laju aliran massa optimum untuk menghasilkan Q_{th} paling besar.

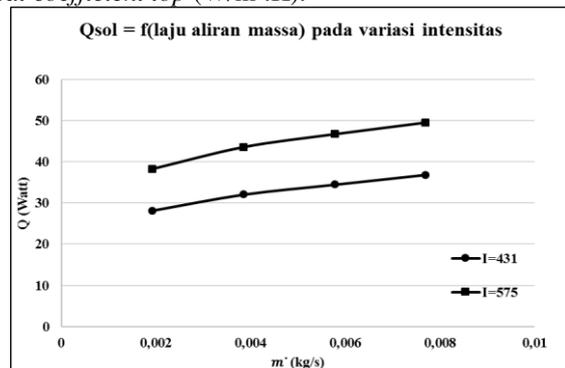
Pada gambar 8 grafik Q_{sol} , nilai paling tinggi pada laju aliran massa sebesar 0,008 kg/s dengan intensitas 575 Watt/m² yakni 49,575 Watt. Hal berbeda terlihat pada grafik Q_{sol} dimana tren grafik cenderung naik seiring bertambahnya laju aliran massa pada semua intensitas radiasi. Rumus energi berguna berdasarkan Duffie [5] yakni

$$Q_{sol} = A_p \cdot F_R [S - U_L(T_{f,in} - T_{amb})] \tag{3}$$

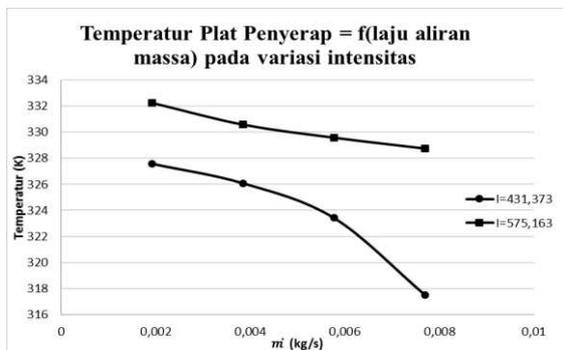
Menunjukkan bahwa besar Q_{sol} dipengaruhi oleh S , besar intensitas yang diterima (Watt/m²), dan atau energi yang hilang, Q_{loss} (watt).

$$Q_{loss} = A_p \cdot (U_T(T_{abs} - T_{amb})) \tag{4}$$

A_p adalah luasan efektif plat penyerap. T_{abs} adalah temperatur plat *absorber*. T_{amb} adalah temperatur sekitar. F_r adalah faktor pelepasan panas. U_L adalah overall heat coefficient total (W/m².K). U_T adalah overall heat coefficient top (W/m².K).



Gambar 8. Grafik energi berguna energi surya fungsi laju aliran massa pada variasi intensitas radiasi



Gambar 9. Grafik temperatur plat penyerap fungsi laju aliran massa pada variasi intensitas radiasi

Jika perumusan U_T dijabarkan maka, nilainya bergantung pada koefisien konveksi dan radiasi pada plat penyerap dan cover glass, dimana

$$U_T = \frac{1}{R_{t,u} \cdot A_p} \tag{5}$$

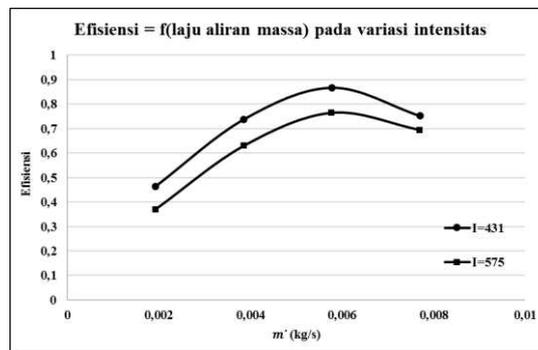
$$R_{t,u} = \frac{1}{h_w} + \frac{1}{h_{r,cg-amb}} + \frac{1}{h_{c,cg-ap}} + \frac{1}{h_{r,cg-ap}} \tag{6}$$

h_w adalah koefisien konveksi wind, $h_{r,cg-amb}$ adalah koefisien radiasi kaca penutup dan lingkungan, $h_{c,cg-ap}$ adalah koefisien konveksi kaca penutup dan plat absorber, $h_{r,cg-ap}$ adalah koefisien radiasi kaca penutup dan plat absorber ($W/m^2.K$)

Dari gambar 9 dapat dilihat jika temperatur plat penyerap memiliki tren menurun seiring dengan naiknya laju aliran massa. Semakin besar intensitas yang diberikan, maka temperatur cover glass dan plat penyerap juga akan naik sehingga menaikkan koefisien konveksi dan radiasi. Koefisien konveksi dan radiasi sebanding dengan overall heat coefficient top (U_T). Bila temperatur plat semakin besar maka Q_{th} akan semakin kecil karena Q_{loss} yang dihasilkan besar. Begitu pula dengan semakin tinggi intensitas radiasi, Q_{loss} yang dihasilkan juga besar. Hal ini mengakibatkan tren grafik Q_{th} naik seiring kenaikan laju aliran massa pada semua intensitas.

Dari hasil perhitungan antara Q_{th} dan Q_{sol} terdapat selisih yang cukup tinggi begitu pula pada tren grafiknya. Hal ini dikarenakan dalam melakukan perhitungan Q_{sol} terdapat banyak asumsi yang digunakan seperti faktor pelepasan panas, F_R , dan koefisien absorpsivitas plat absorber dan transmisivitas kaca dalam menghitung jumlah intensitas radiasi yang diterima kolektor surya, S , serta asumsi dalam perhitungan overall heat coefficient total sehingga hasil yang didapatkan kurang mendekati kondisi aktual eksperimen. Pada grafik Q_{sol} tidak terdapat penurunan nilai Q . Hal ini dikarenakan terdapat variabel yang dijaga konstan yakni intensitas radiasi yang diberikan dan temperatur sekitar maka tren yang dihasilkan cenderung naik. Dengan demikian, nilai Q yang digunakan didasarkan pada perhitungan termodinamika.

Berdasarkan perhitungan energi berguna, kinerja kolektor surya dapat dilihat dari nilai efisiensi. 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 yaitu, udara. Besar efisiensi sebanding dengan energi berguna dan berbanding terbalik dengan intensitas. Energi berguna sebanding dengan intensitas radiasi yang diterima sesuai dengan gambar 10.



Gambar 10. Grafik efisiensi kolektor surya fungsi laju aliran massa pada variasi intensitas radiasi

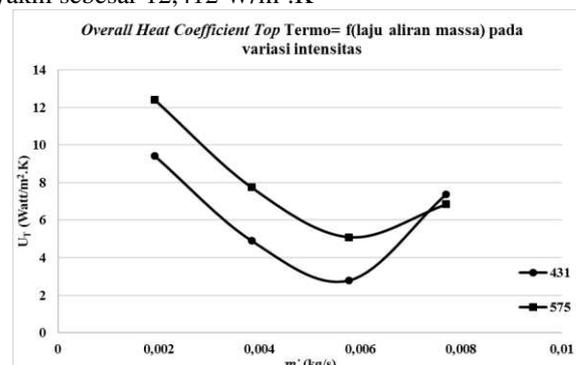
Dari gambar 10 dapat dilihat jika efisiensi desain paling ditinggi yakni 0,8677305 pada laju aliran optimum, 0,006 kg/s dan intensitas 431 $Watt/m^2$. Efisiensi paling tinggi dihasilkan pada variasi intensitas paling rendah, 431 $Watt/m^2$. Perumusan efisiensi jika dijabarkan yakni

$$\eta = \frac{Q_{th}}{A_p \cdot I_T} \tag{7}$$

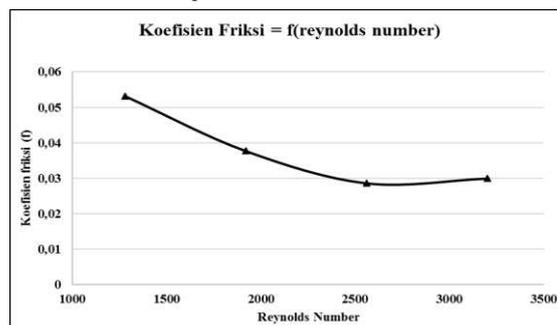
$$\eta = 1 - \frac{Q_{loss}}{A_p \cdot I_T} \tag{8}$$

Dimana η adalah efisiensi termal, Q_{th} adalah energi berguna termo (watt), Q_{loss} adalah energi yang hilang (watt), I_T adalah intensitas radiasi ($Watt/m^2$). Hal ini sesuai dengan rumus sehingga tren grafik naik.

Efisiensi dipengaruhi oleh overall heat coefficient top (U_T). Pada perhitungan overall heat coefficient top (U_T) dipengaruhi oleh temperatur plat penyerap dan kaca penutup. Semakin kecil intensitas radiasi maka U_T semakin kecil dan Q_{use} energi surya semakin besar dengan demikian efisiensi yang dihasilkan akan besar saat intensitas rendah. Pada gambar 11 terlihat bahwa U_T memiliki tren menurun seiring kenaikan laju aliran massa pada semua intensitas. Nilai U_T paling tinggi pada laju aliran massa 0,002 kg/s dengan intensitas 575 $Watt/m^2$ yakni sebesar 12,412 $W/m^2.K$



Gambar 11. Grafik overall heat coefficient top (U_T) fungsi laju aliran massa pada variasi intensitas radiasi



Gambar 12. Grafik koefisien friksi aliran fungsi reynolds number pada intensitas 719 $Watt/m^2$

Pada eksperimen yang dilakukan, penurunan tekanan dapat diukur dengan menggunakan *differential magnetic pressure gage*. Penurunan tekanan adalah hasil dari gaya gesek pada fluida ketika mengalir melalui saluran. Penurunan tekanan banyak bergantung pada 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 yaitu,

$$f = \frac{\Delta P}{\frac{L}{D_h} \rho \frac{V^2}{2}} \quad (9)$$

dimana f adalah koefisien friksi aliran, ΔP adalah penurunan tekanan masuk dan keluar (Pascal), L adalah panjang saluran (m), D_h adalah diameter hidrolis (m), ρ adalah massa jenis udara (kg/m^3), dan V adalah kecepatan aliran masuk (m/s)

Gambar 12 adalah grafik koefisien friksi aliran (f) terhadap *reynolds number* pada intensitas 575 Watt/m^2 . Koefisien friksi paling besar pada *reynold number* 1281. Tren grafik menurun menunjukkan koefisien friksi aliran berkurang seiring bertambahnya *reynolds number* selanjutnya tren grafik cenderung konstan pada Reynolds number 2562 dan 3202. Hal ini bersesuaian dengan diagram *moody* [3]. Besarnya bilangan *reynolds* sebanding dengan kecepatan aliran (V). Pada diagram *moody* ketika 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*. Maka saat aliran semakin turbulen, koefisien friksi tidak semakin kecil seperti kondisi laminar.

Penambahan *obstacle* dan *fin* mengakibatkan penurunan tekanan maka energi yang diperlukan untuk mengalirkan udara semakin besar. Ketika penurunan tekanan semakin besar maka akan menyebabkan kenaikan daya blower.

IV. KESIMPULAN

Dari penelitian kolektor surya *v corrugated absorber plate* dengan penambahan *obstacle* dan *fin* setengah silinder dapat disimpulkan yakni *fin* optimum diameter 6mm dan jarak terhadap *obstacle* sebesar 0,5L dengan beda temperatur 8,809 Kelvin dan penurunan tekanan 357,046 Pascal. Hasil eksperimen, Q_{th} paling tinggi pada laju aliran massa sebesar 0,006 kg/s dengan intensitas radiasi 575 Watt/m^2 yakni 63,331 Watt. Kenaikan temperatur paling besar yakni 17 Kelvin pada laju aliran massa 0,002 kg/s dengan intensitas 575 Watt/m^2 . Efisiensi paling ditinggi yakni 0,868 pada laju aliran massa 0,006 kg/s dengan intensitas radiasi sebesar 431 Watt/m^2 . Penurunan tekanan paling besar saat *reynolds number* 3202 yakni 54 Pascal dan menghasilkan koefisien friksi aliran sebesar 0,028.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih saya ucapkan kepada Jurusan Teknik Mesin FTI-ITS yang telah memberikan dukungannya terhadap penelitian ini

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Sudirman Said. 2014. *Outlook Energi Indonesia*. Indonesia. ESDM.
- [2] 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.
- [3] A.A. El-Sebaei, Aboul Enein, M.R.I. Ramadan, S.M. Shalaby, B.M. Moharram. 2005. *Investigation of thermal performance of double pass flat and v corrugated plate solar air heaters*. Egypt: University of Tanta.
- [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] Duffie, J.A. and W.A. Beckman. 1991. *Solar Engineering of Thermal Processes*. Second Edition. New York. John Willey and Sons Inc.