

Studi Eksperimental Pemanas Air Tenaga Surya Pelat *Absorber* Type *Sinusoidal* dengan Variasi Terhadap Derajat Kevacuman dan *Aspect Ratio*

Izha Mahendra, Djatmiko Ichsani

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

Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111 Indonesia

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

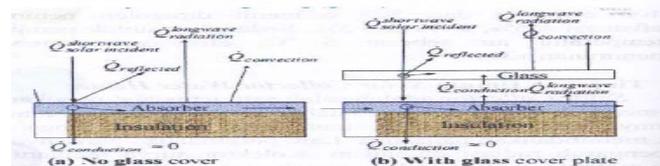
Abstrak—Sistem kolektor surya yang dirancang adalah kolektor dengan variasi tingkat kevacuman dan *aspect ratio* dengan tebal pelat (δ) 1 mm. Untuk tingkat pemvakuman -20 cm.Hg, -40 cm.Hg, dan -60 cm.Hg serta menggunakan *aspect ratio* 1, 1.33, dan 2. Pengambilan data dilaksanakan dengan memvariasi debit fluida kerja dengan mengatur bukaan katup, yaitu dari 100 cc/menit sampai 300 cc/menit kenaikan 100 cc/menit. Dengan pemvariasian tingkat kevacuman di antara pelat absorber dan kaca penutup, diharapkan dapat memperkecil koefisien kehilangan, temperatur absorber naik, dan temperatur kaca penutup turun. Sehingga dapat meningkatkan efisiensi kolektor. Sehingga kita dapat menyimpulkan bahwa pada tingkat kevacuman -60 cmHg efisiensi yang didapat lebih besar dibandingkan dengan tingkat kevacuman -20 cmHg dan -40 cmHg. Sedangkan untuk *aspect ratio* 2 memiliki efisiensi terbesar dibandingkan *aspect ratio* 1 dan 1,33.

Kata Kunci— *solar collector, alternative energy, sinusoidal absorber, solar energy, the collector efficiency.*

I. PENDAHULUAN

ADA 2 macam teknologi yang sudah diterapkan untuk memanfaatkan potensi energy surya, yaitu teknologi energy surya termal dan energy surya fotovoltaic. Tetapi pada tugas akhir ini hanya mempelajari pemanfaatan teknologi energy surya termal sebagai pemanas air. Studi tentang unjuk kerja kolektor surya sebagai pemanas air telah banyak dilakukan. Kolektor surya pemanas air mempunyai berbagai macam variasi. Salah satu yang divariasikan adalah *absorber* dari kolektor surya tersebut. Kolektor surya pelat datar dengan *tube* telah banyak diteliti dengan memodifikasi posisi pipa terhadap pelat datar. Kolektor surya pelat datar sudah banyak diproduksi secara massal sebagai *water heater*. Pada kolektor surya pelat datar dibutuhkan pengelasan untuk menghubungkan pipa dan pelat. Sambungan tersebut menimbulkan adanya tahanan termal yang akan menghambat perpindahan panas dari pelat *absorber* ke pipa.

Penggunaan pelat *absorber* gelombang pada kolektor surya pemanas air ini diharapkan dapat mengatasi kelemahan pada solar kolektor pelat datar dengan *tube*. Pada kolektor surya ini radiasi matahari yang diserap oleh pelat *absorber* akan langsung ditransfer ke air. Selain itu dengan dimensi kolektor yang sama, pelat *absorber* gelombang mempunyai luasan penyerapan panas lebih besar. Penggunaan pelat gelombang sebagai pelat *absorber* dapat meningkatkan *absorbsivitas* karena selain menerima radiasi matahari langsung, juga menerima pantulan dari pelat



Gambar 1. Prinsip Kerja Solar Collector

gelombang disebelahnya. Dengan demikian diharapkan pelat *absorber* mempunyai performansi yang baik dan layak digunakan sebagai pelat *absorber* untuk pemanas air.

Kehilangan panas melalui bagian atas kolektor surya merupakan bagian dari rugi-rugi panas terbesar. Dengan mengurangi kehilangan panas dari bagian atas kolektor akan meningkatkan efisiensi kolektor. Untuk itu perlu dilakukan penelitian bagaimana cara mengurangi kehilangan panas tersebut.

II. URAIAN PENELITIAN

A. Prinsip Kerja Sistem Solar Collector Sederhana

Prinsip kerja dari kolektor surya tersebut adalah sebagai berikut: pada Gambar 1 (a), kolektor surya ini tidak menggunakan glass sebagai cover. Jadi radiasi matahari langsung diserap oleh absorber. Energi radiasi tersebut ada yang dipantulkan, diserap, dan diteruskan ke fluida yang mengalir dibawahnya. Dengan memberi warna hitam pada absorber, diharapkan absorber mempunyai absorpsivitas (α) yang tinggi mendekati 1. Kelemahan dari kolektor surya ini adalah rugi-rugi konveksi yang besar karena tidak adanya penutup yang mencegah besarnya fluida yang mengalir di atas absorber. Sedangkan pada Gambar 1 (b), radiasi matahari menembus kaca penutup lalu sinar matahari akan diteruskan menuju absorber dan diharapkan semua sinar matahari yang berupa energi panas terakumulasi di pelat absorber. Energi dari radiasi matahari yang terakumulasi di pelat absorber akan ditransfer ke fluida yang mengalir di bawah pelat absorber. Sehingga menyebabkan temperature fluida yang keluar mengalami peningkatan. Bagian isolasi yang berada di bawah pelat absorber berfungsi sebagai isolator agar panas tidak terdistribusi keluar sistem kolektor surya.

B. Analisa Perpindahan Panas Pada Solar Collector

Ada tiga perpindahan panas pada kolektor surya pemanas air dengan *absorber* gelombang ini, yaitu: konveksi, konduksi, dan radiasi. Energi radiasi matahari (S) yang diterima oleh pelat *absorber* gelombang sebagian

dimanfaatkan menjadi energi berguna (Q_u) dan menjadi rugi panas ke atas kolektor (U_i) dan rugi panas ke bawah (U_b).

1) Analisa Perpindahan Panas Antara Cover dan Udara Luar

a. Konveksi

Perhitungan koefisien perpindahan panas di atas kolektor / di atas pelat *absorber* dimulai dengan mencari nilai koefisien perpindahan panas konveksi oleh angin di atas kaca penutup. Kemudian mencari koefisien perpindahan panas radiasi di atas kaca penutup. Selanjutnya diikuti dengan koefisien perpindahan panas konveksi bebas dan radiasi pada area di antara kaca penutup dan *absorber*.

Koefisien perpindahan panas konveksi yang disebabkan oleh angin yang berhembus di atas penutup yaitu:

$$Re_L = \frac{\rho V L}{\mu} \quad (1)$$

$$Gr_L = \frac{g \beta (T_s - T_\infty) L^3}{\nu} \quad (2)$$

Dimana

ρ = massa jenis udara (kg/m^3)

V = kecepatan angin di atas collector (m/s)

Re_L = bilangan Reynold

Gr_L = bilangan Grasoft

g = percepatan gravitasi (m/s^2)

β = koefisien ekspansi volumetric (untuk gas ideal $\beta = 1/T$)

L = panjang kolektor (m)

ν = viskositas kinematik (m^2/s)

Untuk nilai $Gr_L / Re_L \ll 1$ maka aliran tersebut termasuk aliran *force convection*, sedangkan untuk $Gr_L / Re_L \gg 1$ maka aliran tersebut *free convection*.

$$Ra = \frac{g \beta \Delta T L^3}{\nu \alpha} \quad (3)$$

Dimana :

Ra = Rayleigh Number

g = percepatan gravitasi (m/s^2)

ΔT = beda temperature antara pelat dan *cover* (K)

L = jarak pelat dan *cover* (m)

ν = viskositas kinematik (m^2/s)

α = *thermal diffusivity* (m^2/s)

β = volumetric coefficient expansion ($\beta = 1/T$) (1/K)

Untuk *free convection*, persamaan yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$Nu_L = 0,54 Ra_L^{1/4} \quad (4)$$

$$10^4 \leq Ra_L < 10^7 \quad (5)$$

Sedangkan untuk *force convection*, persamaan yang digunakan adalah sebagai berikut:

- Aliran *Turbulent* pada *flat plate*

$$Nu_L = 0.453 Re_L^{1/2} Pr^{1/3} \quad (6)$$

- Aliran *Laminer* pada *flat plate* ($Re_L \leq 5 \times 10^5$)

$$Nu_L = 0.038 Re_L^{4/5} Pr^{1/3} \quad (7)$$

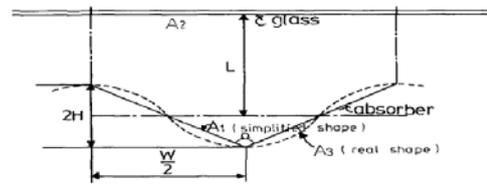
b. Radiasi

Koefisien perpindahan panas radiasi pada penutup ke udara luar (atmosfir) dapat dihitung dengan persamaan:

$$h_{r,c-a} = \frac{\sigma \epsilon_c (T_c^4 - T_{sky}^4)}{(T_c - T_{sky})} \quad (8)$$

Dimana:

ϵ_c = *emisivitas cover*



Gambar 2 Perhitungan dari factor bentuk (Sutrisno, 2002).

σ = konstanta Stefan Boltzman = $5,67 \times 10^{-8}$ ($W/m^2 K^4$)

T_c = temperature *cover* penutup (K)

T_{sky} = temperature sky (K)

Menurut Swibank, *sky temperature* (temperature langit) dapat dihitung dari persamaan berikut ini:

$$T_{sky} = 0.05552 T_a^{1.5} \quad (9)$$

2) Perpindahan Panas Antara Pelat Absorber dan Cover

a. Konveksi

Perpindahan panas secara konveksi bebas terjadi antara pelat *absorber* dan kaca penutup (*cover*) ditentukan oleh bilangan *non-dimensional* yaitu bilangan Nusselt (Nu), Rayleigh (Ra), dan Grashof (Gr) yang merupakan perbandingan bilangan Rayleigh (Ra) dan bilangan Prandtl (Pr). Berdasarkan percobaan dari Holland et al. (1976) bilangan Nusselt diberikan dengan persamaan sebagai berikut:

$$Nu = 1 + 1,44 \left[1 - \frac{1708 (\sin 1.8\beta)^{1.6}}{Ra \cos \beta} \right] \left[1 - \frac{1708}{Ra \cos \beta} \right]^+ \left[\left(\frac{Ra \cos \beta}{5830} \right)^{1/3} - 1 \right]^+ \quad (10)$$

Pangkat positif pada persamaan (10) berarti hanya harga positif yang diperhitungkan, bila berharga negative maka dianggap sama dengan nol.

Koefisien perpindahan panas konveksinya diberikan dengan persamaan:

$$h_{c,p-c} = \frac{Nu \cdot k_f}{L} \quad (11)$$

Dimana: Nu = Nusselt number

L = jarak rata-rata *absorber* dan kaca

k_f = konduksi termal fluida pada T_{avg}

b. Radiasi

Faktor bentuk akan berpengaruh terhadap proses perpindahan panas radiasi dari pelat *absorber* gelombang ke kaca penutup. Penyelesaian perpindahan panas radiasi pada pelat gelombang menurut Jong Ho Lee dkk, adalah : gelombang sinus dari gelombang seng dianggap sebagai pelat datar, seperti pada gambar 2.

Faktor bentuk dari permukaan 1-2 atau 2-1 adalah sebagai berikut:

$$F_{p-c} = 1 - \sin^2 \frac{\alpha}{2} \quad (12)$$

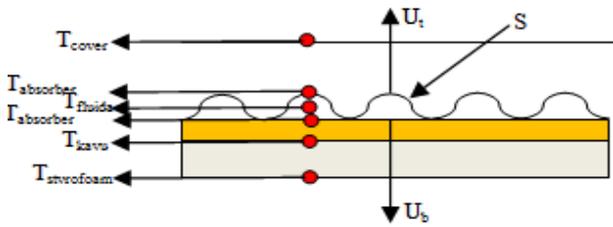
Dan koefisien perpindahan panas radiasi dari permukaan 1-2 atau 2-1 adalah:

$$h_{r,p-c} = \frac{\sigma (T_p^2 + T_c^2) (T_p + T_c)}{\frac{1 - \epsilon_1}{\epsilon_1 A_1} + \frac{1}{A_1 F_{1-2}} + \frac{1 - \epsilon_2}{\epsilon_2 A_2}} \quad (13)$$

3) Perpindahan Panas Antara Pelat Absorber dan Air

a. Konveksi

Antara pelat *absorber* gelombang dengan air terjadi proses perpindahan panas konveksi. Untuk mendapatkan nilai Nusselt Number dengan analisa perpindahan panas yang melibatkan aliran dalam (*internal flow*) dengan asumsi *heat fluks* konstan. Untuk mendapatkan besarnya Reynold



Gambar 3 Kehilangan panas pada sisi bawah kolektor.

Number menggunakan persamaan:

$$Re_D = \frac{\rho \cdot V \cdot Dh}{\mu} = \frac{4\dot{m}}{\pi \cdot Dh \cdot \mu} \quad (14)$$

Dimana : Re_D = bilangan Reynold
 μ = dynamic viscosity (kg/m.s)
 Dh = diameter hidrolis (m)

Jika aliran di dalam pelat absorber adalah turbulen flow maka dari Dittus-Boelter equation adalah:

$$Nu_D = 0.023 Re^{4/5} Pr^{0.4} \quad (15)$$

Sedangkan jika aliran di dalam pelat absorber adalah laminar flow maka besarnya nilai Nu:

$$Nu_D = 4.36 \quad (16)$$

Jadi koefisien perpindahan panas konveksi antara pelat absorber gelombang dengan air adalah:

$$Nu = \frac{h \cdot Dh}{k_f} \quad (17)$$

$$h_{f-p} = \frac{Nu \cdot k_f}{Dh} \quad (18)$$

Dimana: Nu = Nusselt Number
 Dh = diameter hidrolis
 k_f = konduksi termal fluida pada T_{avg}

4) Koefisien Kerugian Panas Bawah (U_b)

Proses perpindahan panas antara pelat datar ke styrofoam di bagian bawah kolektor seperti pada Gambar 3. Sedangkan koefisien perpindahan panas antara styrofoam dengan udara luar diabaikan karena sangat kecil:

Jadi besarnya rugi- rugi panas bagian bawah adalah:

$$U_b = \frac{1}{\left[\frac{L_w}{k_w} + \frac{L_s}{k_s} + \frac{2}{h_f} \right]} \quad (19)$$

Dimana: U_b = rugi-rugi bagian bawah (W/m^2K)
 k_w = konduktifitas kayu (W/mK)
 k_s = konduktifitas styrofoam (W/mK)
 L_w = ketebalan kayu (m)
 L_s = ketebalan styrofoam (m)
 h_f = koefisien konveksi fluida air (W/m^2K)

Sehingga koefisien kerugian panas menyeluruhnya adalah:

$$U_L = U_t + U_b \quad (20)$$

$$U_t = \frac{1}{(R_1 + R_2)} \quad (21)$$

Dimana:

$$R_1 = \frac{1}{h_{c-a}} + \frac{1}{h_{r,c-a}} \quad (22)$$

$$R_2 = \frac{1}{h_{p-c}} + \frac{1}{h_{r,p-c}} \quad (23)$$

$$U_b = \frac{1}{\left[\frac{L_w}{k_w} + \frac{L_s}{k_s} + \frac{2}{h_f} \right]} \quad (24)$$

Untuk menghitung besarnya factor efisiensi kolektor, terlebih dahulu kolektor surya absorber gelombang ini diasumsikan seperti kolektor surya pemanas air dengan menggunakan tube. Sehingga dapat diperoleh persamaan:

$$m = \sqrt{\frac{U_L}{k \cdot \delta}} \quad (25)$$

$$F = \frac{\tanh\left(\frac{m(W-D)}{2}\right)}{\left(\frac{m(W-D)}{2}\right)} \quad (26)$$

$$F' = \frac{1/U_L}{W \left[\frac{1}{U_L[D+(W-D)F]} + \frac{1}{\pi \cdot D \cdot h_{f,i}} \right]} \quad (27)$$

Dimana: U_L = rugi-rugi panas total (W/m^2)
 W = jarak tiap pitch (m)
 D = diameter hidrolis pitch (m)
 F = fin efisiensi
 $h_{f,i}$ = koefisien konveksi fluida (W/m^2)

Sedangkan besarnya collector flow factor adalah:

$$F'' = \frac{\dot{m} \cdot c_p}{A_c \cdot U_L \cdot F'} \left[1 - \exp\left(-\frac{A_c U_L F'}{\dot{m} c_p}\right) \right] \quad (28)$$

Dimana: A_c = luasan absorber (m^2)
 c_p = panas spesifik fluida ($kJ/kg.K$)
 U_L = koefisien kehilangan panas total ($W/m^2.K$)
 F' = factor efisiensi kolektor
 \dot{m} = laju aliran massa air (kg/s)

Faktor pelepasan panas (F_R) untuk kolektor surya pemanas tipe aliran dibawah absorber adalah sebagai berikut:

$$F_R = F' \times F'' \quad (29)$$

Dimana: F_R = factor pelepasan panas
 F' = factor efisiensi kolektor
 F'' = collector flow factor

Energi berupa panas yang berguna dari kolektor surya pemanas air di bawah absorber adalah sebagai berikut:

$$Q_{u,desain} = A_c \cdot F_R [S - U_L(T_i - T_a)] \quad (30)$$

Dimana: Q_u = energi berguna (W/m^2)
 S = radiasi surya per satuan luas yang diserap oleh absorber (W/m^2)
 U_L = koefisien kehilangan panas total ($W/m^2.K$)
 T_i = temperature fluida masuk ($^{\circ}C$)
 T_a = temperature lingkungan ($^{\circ}C$)
 F_R = collector heat removal factor

Sedangkan energi berguna dari kolektor surya pemanas air dengan absorber gelombang secara aktualnya menurut hukum termodinamika adalah sebagai berikut:

$$Q_{u,aktual} = \dot{m} \cdot c_p \cdot (T_{f,out} - T_{f,in}) \quad (31)$$

Dimana: Q_u = energi berguna (W/m^2)
 \dot{m} = laju aliran massa (kg/s)
 T_{fi} = temperature fluida masuk (K)
 T_{fo} = temperature fluida keluar (K)

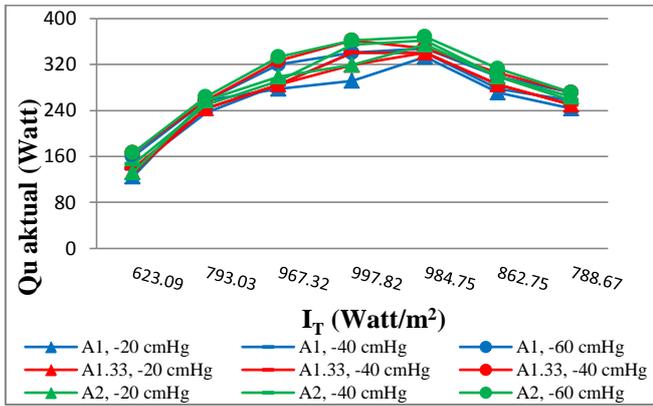
Energi yang berguna secara teoritis dan actual pada kolektor surya telah dijelaskan di atas. Sedangkan efisiensi kolektor surya pemanas air tipe aliran di bawah absorber adalah sebagai berikut:

$$\eta = \frac{Q_u}{A_c I_T} \quad (32)$$

Dimana: η = efisiensi kolektor
 Q_u = energi berguna (W/m^2)
 A_c = luasan kolektor (m^2)
 I_T = intensitas matahari total (W/m^2)

C. Penelitian Terdahulu

Berbagai penelitian terdahulu mengenai kolektor surya



Gambar 4. Grafik Pengaruh Tingkat Kevacuman pada debit 300 cc/menit

telah banyak dilakukan diantaranya: Meyer et al and Randall et al (1978)

Tujuan mendesain *solar collector* dengan penambahan *parallel slat array* (TIM) adalah untuk mengurangi kehilangan panas (*heat loss*) yang melewati kaca penutup (*cover*).

Pada tahun 1978, Meyer dan Randall melakukan penelitian dengan cara membandingkan besarnya rugi-rugi panas antara kolektor surya yang diberikan penambahan *parallel slat array* dan kolektor surya tanpa penambahan *parallel slat array*, hasil penelitian menyebutkan pada sudut *solar collector* ($\beta = 45^\circ$) dan *aspect ratio* ($A = 2$), penambahan *parallel slat array* (TIM) dapat mengurangi setengah (0,5) kehilangan panas secara konveksi yang melewati *cover* bila dibandingkan dengan *solar collector* tanpa penambahan *parallel slat array* (TIM). Sedangkan pada sudut *solar collector* yang sama ($\beta = 45^\circ$) dan *aspect ratio* ($A = 4$), penambahan *parallel slat array* (TIM) dapat mengurangi sepertiga (0,33) kehilangan panas secara konveksi yang melewati *cover* bila dibandingkan dengan *solar collector* tanpa penambahan *parallel slat array* (TIM).

III. METODOLOGI PENELITIAN

A. Prinsip Pengujian

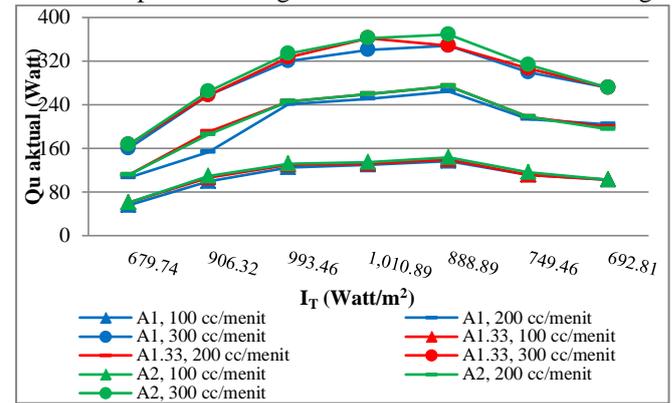
Perancangan kolektor surya ini dilakukan di laboratorium surya yang terletak di kampus teknik Mesin ITS Surabaya yang berada pada koordinat $7^\circ 16' LU - 112^\circ 43' BT / 7,267^\circ LS - 112,717^\circ BT$. Dengan suhu udara sekitar $37^\circ C$. sehingga diharapkan model eksperimental kolektor surya yang dibuat dapat menghasilkan kolektor surya yang dapat menyerap energi surya dengan efektif.

IV. HASIL DAN ANALISA

A. Pembahasan Grafik Pengaruh Tingkat Kevacuman Pada Debit 300 cc/menit

Pada gambar 4 kita dapat melihat bahwa ketika debit kolektor surya diset 300 cc/menit dan divariasikan terhadap tingkat kevacuman dan *Aspect Ratio*. Variasi tingkat kevacuman mulai dari tingkat kevacuman -20 cmHg, -40 cmHg, dan -60cmHg. Sedangkan untuk variasi *Aspect Ratio*, mulai dari Aspect Ratio 1 ; 1,33 ; dan 2. Maka kita dapatkan Qu terbesar didapat ketika tingkat kevacuman sebesar -60 cmHg. Kemudian Qu pada tingkat kevacuman sebesar -40 cmHg semakin berkurang. Dan Qu paling

rendah didapat ketika tingkat kevacuman sebesar -20 cmHg.



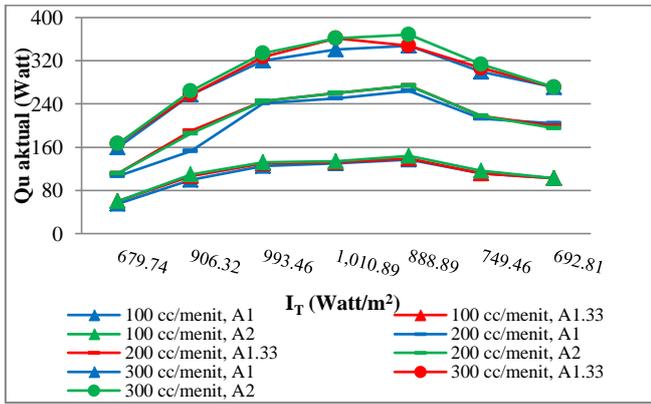
Gambar 5. Grafik Pengaruh Perubahan Debit pada Tingkat Kevacuman -60 cmHg

Sedangkan pengaruh *Aspect Ratio* terhadap Qu adalah semakin besar *Aspect Ratio* maka Qu yang terjadi akan semakin besar. Hal ini dapat kita lihat ketika kolektor surya kita set pada *Aspect Ratio* 2 menghasilkan Qu yang paling besar yaitu sebesar 368,58 Watt. Untuk *Aspect Ratio* 1,33, Qu yang dihasilkan lebih rendah yaitu sebesar 361,63 Watt dibandingkan dengan Qu yang dihasilkan ketika kolektor surya diset pada *Aspect Ratio* 2. Sehingga Qu terendah dihasilkan ketika kolektor surya diset pada *Aspect Ratio* 1 yaitu sebesar 347,78 Watt.

Hal ini terjadi karena Qu yang dihasilkan berkaitan dengan besarnya *Temperature out* air yang melewati pelat *absorber*. Dengan semakin besar *Temperature out* yang dihasilkan, menyebabkan Qu yang didapat juga akan semakin besar. Hal tersebut sesuai dengan rumus $Q_{u, aktual} = IA - Q_{loss}$. Dengan Qu yang semakin besar, maka q_{loss} yang terjadi semakin kecil. Dikarenakan koefisien konveksi yang terjadi antara pelat *absorber* dan *cover* (bisa dinyatakan sebagai h_{vakum}) semakin kecil. Dengan semakin kecilnya h_{vakum} maka R_{total} antara pelat *absorber* dengan *cover* akan semakin besar, sesuai dengan rumus $R_{total} = \frac{1}{h_v} + \frac{1}{h_r}$. Sehingga menyebabkan q_{loss} akan turun dan memperbesar Qu.

B. Pembahasan Grafik Pengaruh Perubahan Debit Pada Tingkat Kevacuman -60 cmHg

Pada gambar 5 kita dapat melihat bahwa ketika tingkat kevacuman kolektor surya diset pada -20 cmHg dan divariasikan terhadap *debit fluida* yang dialirkan dibawah pelat *absorber* dan *Aspect Ratio*. Variasi debit fluida mulai dari debit 100 cc/menit, 200 cc/menit, dan 300 cc/menit. Sedangkan untuk variasi *Aspect Ratio*, mulai dari Aspect Ratio 1 ; 1,33 ; dan 2. Maka kita dapatkan Qu terbesar didapat ketika berada pada debit 300 cc/menit. Kemudian Qu pada debit 200 cc/menit semakin berkurang. Dan Qu paling rendah didapat ketika debit berada pada 100 cc/menit. Sedangkan pengaruh *Aspect Ratio* terhadap Qu adalah semakin besar *Aspect Ratio* maka Qu yang terjadi akan semakin besar. Hal ini dapat kita lihat ketika kolektor surya kita set pada *Aspect Ratio* 2 menghasilkan Qu yang paling besar yaitu sebesar 368,58 Watt. Untuk *Aspect Ratio* 1,33, Qu yang dihasilkan lebih rendah yaitu sebesar 361,63 Watt dibandingkan dengan Qu yang dihasilkan ketika kolektor surya diset pada *Aspect Ratio* 2. Sehingga Qu terendah dihasilkan ketika kolektor surya diset pada *Aspect Ratio* 1 yaitu sebesar 347,78 Watt.



Gambar 6. Grafik Pengaruh Perubahan Aspect Ratio Pada Tingkat Kevacuman -60 cmHg

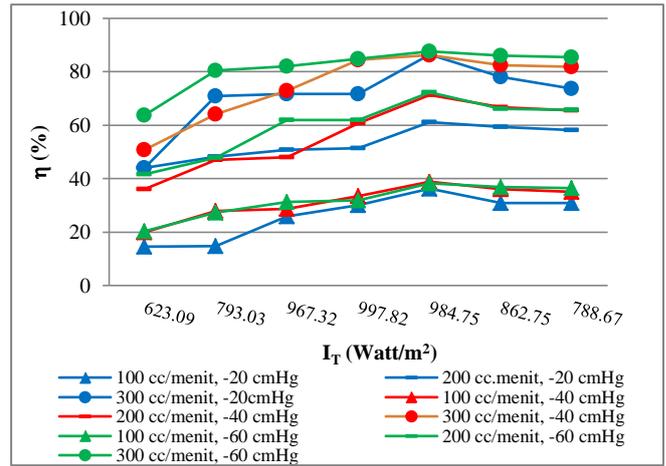
Hal ini terjadi karena Q_u yang dihasilkan berkaitan dengan besarnya debit air yang melewati pelat *absorber*. Dengan semakin besar debit air yang melewati pelat *absorber*, menyebabkan Q_u yang didapat juga akan semakin besar. Hal tersebut sesuai dengan rumus $Q_{u, aktual} = \dot{m} \cdot c_p \cdot (T_{out} - T_{in})$. Dengan Q_u yang semakin besar, maka q loss yang terjadi semakin kecil. Dikarenakan koefisien konveksi fluida semakin kecil. Dengan semakin kecilnya h_f maka R_{total} pada fluida akan semakin besar, sesuai dengan rumus $R_{total} = \frac{2}{h_f}$. Sehingga menyebabkan q loss akan turun dan memperbesar Q_u . Selain itu, dengan meningkatnya *mass flow rate* (\dot{m}) maka Q_u yang dihasilkan akan semakin besar dikarenakan T_s pelat turun.

C. Pembahasan Grafik Pengaruh Perubahan Aspect Ratio dan Debit Pada Tingkat Kevacuman -60 cmHg

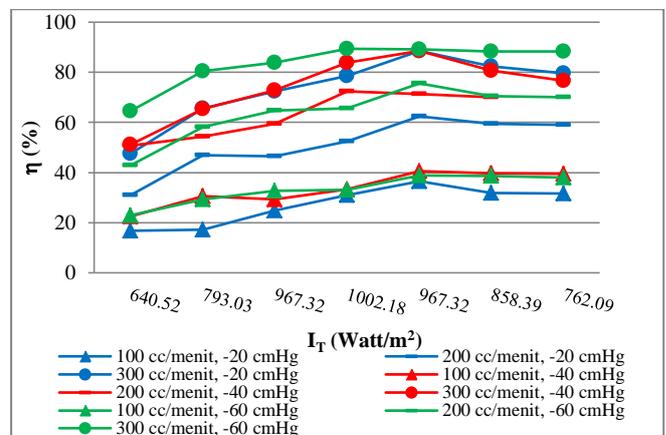
Pada gambar 6. kita dapat melihat bahwa ketika kolektor surya divariasikan pada tingkat kevacuman -20 cmHg, -40 cmHg, dan -60 cmHg. Serta divariasikan terhadap debit fluida yang dialirkan dibawah pelat *absorber* dan Aspect Ratio. Untuk variasi debit fluida mulai dari debit 100 cc/menit, 200 cc/menit, dan 300 cc/menit. Sedangkan untuk variasi Aspect Ratio, mulai dari Aspect Ratio 1 ; 1,33 ; dan 2. Maka kita dapatkan Q_u terbesar didapat ketika berada pada Aspect Ratio 2. Kemudian Q_u pada Aspect Ratio 1,33 semakin berkurang. Dan Q_u paling rendah didapat ketika debit berada pada Aspect Ratio 1. Sedangkan pengaruh perubahan debit fluida terhadap Q_u adalah semakin besar debit fluida maka Q_u yang terjadi akan semakin besar. Hal ini dapat kita lihat ketika kolektor surya kita set pada debit 300 cc/menit menghasilkan Q_u yang paling besar yaitu sebesar 368,58 Watt. Untuk debit 200 cc/menit, Q_u yang dihasilkan lebih rendah yaitu sebesar 273,55 Watt dibandingkan dengan Q_u yang dihasilkan ketika kolektor surya diset pada debit 300 cc/menit. Sehingga Q_u terendah dihasilkan ketika kolektor surya diset pada debit 100 cc/menit yaitu sebesar 143,73 Watt.

Hal ini terjadi karena Q_u yang dihasilkan berkaitan dengan jarak antara *cover* dengan puncak gelombang *absorber* (H). Semakin kecil nilai H / semakin dekat jarak antara *cover* dengan puncak gelombang *absorber* maka Nu_f yang dihasilkan semakin kecil. Hal ini sesuai dengan rumus $Nu_f = \frac{g \cdot \beta \cdot \Delta T \cdot H^3}{\nu \cdot \alpha}$. Dengan harga Nu_f semakin kecil maka koefisien konveksi yang terjadi antara pelat *absorber* dengan *cover* akan semakin kecil. Sesuai dengan rumus $h_{c, p}$

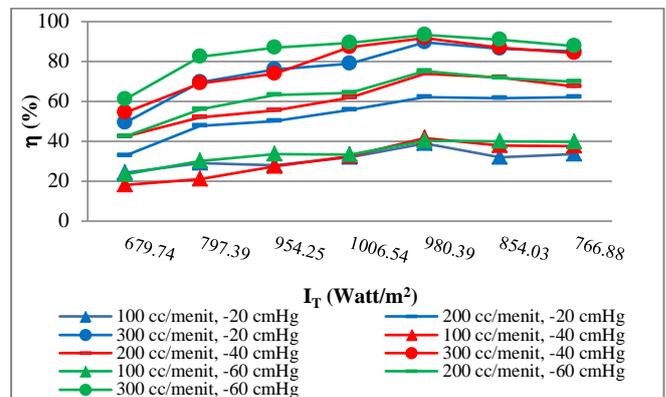
D. Pembahasan Grafik Efisiensi Pada Masing-masing Aspect Ratio



Gambar 7. Grafik Efisiensi pada Aspect Ratio 1



Gambar 8. Grafik Efisiensi pada Aspect Ratio 1,33



Gambar 9. Grafik Efisiensi pada Aspect Ratio 2

$c = \frac{N_{u,k}}{H}$. Sehingga dengan $h_{c,p-c}$ semakin kecil maka q loss yang terjadi semakin kecil karena R_{total} antara pelat *absorber* dan *cover* semakin besar. Dengan nilai q loss semakin kecil maka Q_u yang dihasilkan akan semakin besar.

Pada gambar 7, 8, dan 9 kita dapat melihat bahwa ketika kolektor surya divariasikan pada tingkat kevacuman -20 cmHg, -40 cmHg, dan -60 cmHg. Serta divariasikan terhadap debit fluida yang dialirkan dibawah pelat *absorber* dan Aspect Ratio. Untuk variasi debit fluida mulai dari debit 100 cc/menit, 200 cc/menit, dan 300 cc/menit. Maka kita dapatkan efisiensi terbesar ketika divariasikan terhadap debit fluida didapat ketika berada pada debit 300 cc/menit. Kemudian efisiensi pada debit 200 cc/menit semakin

berkurang. Dan efisiensi paling rendah didapat ketika debit 100 cc/menit. Sedangkan pengaruh perubahan tingkat kevacuman terhadap efisiensi adalah semakin vakum maka efisiensi yang terjadi akan semakin besar. Hal ini dapat kita lihat ketika kolektor surya kita set pada tingkat kevacuman -60 cmHg menghasilkan efisiensi yang paling besar yaitu sebesar 93,29%. Untuk tingkat kevacuman -20 cmHg, efisiensi yang dihasilkan lebih rendah yaitu sebesar 91,53% dibandingkan dengan efisiensi yang dihasilkan ketika kolektor surya diset pada tingkat kevacuman -60 cmHg. Sehingga efisiensi terendah dihasilkan ketika kolektor surya diset pada tingkat kevacuman -20 cmHg yaitu sebesar 89,42%.

Hal ini terjadi karena Q_u yang dihasilkan berkaitan dengan besarnya debit fluida yang mengalir melewati pelat *absorber yang mempengaruhi besarnya mass flow rate* (\dot{m}) dan besarnya *Temperature out*. Dengan semakin besar *mass flow rate* (\dot{m}) yang dihasilkan dan semakin besarnya *Temperature out*, menyebabkan Q_u yang didapat juga akan semakin besar karena semakin besar *Aspect Ratio* menunjukkan bahwa rongga antara pelat *absorber* dengan *cover glass* semakin kecil. Hal tersebut menyebabkan kehilangan panas melalui bagian atas kolektor surya yang merupakan bagian dari rugi-rugi panas semakin kecil. Sehingga dengan Q_u yang dihasilkan semakin besar maka efisiensi dari kolektor surya tersebut juga akan semakin besar sesuai dengan rumus $\eta = \frac{Q_u}{A_c I_T}$.

V. KESIMPULAN/RINGKASAN

A. Kesimpulan

Dari percobaan yang dilakukan serta pembahasan terhadap data yang didapatkan, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Dengan semakin vacum tingkat kevacuman pada rongga antara pelat *absorber* dengan *cover*, Q_u yang dihasilkan akan semakin besar. Hal tersebut juga menyebabkan efisiensi yang di dapat juga semakin besar.
2. Dengan semakin besarnya *Aspect Ratio*, maka Q_u yang dihasilkan akan semakin besar. Hal tersebut juga menyebabkan efisiensi yang di dapat juga semakin besar.
3. Semakin besar debit *fluida* yang mengalir dibawah pelat *absorber*, maka Q_u yang dihasilkan akan semakin besar. Hal tersebut juga menyebabkan efisiensi yang didapat juga semakin besar.
4. Efisiensi terbesar terjadi ketika kolektor surya diset pada debit 300 cc/menit, tingkat kevacuman -60 cmHg, *Aspect Ratio* 2, dan pada jam 13.00WIB ketika intensitas matahari sebesar 980,39 Watt/m² dengan efisiensi sebesar 93,29%.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] [1] K.G.T. Hollands, 1965, "Honeycomb device in flat-plate solar collector", *Solar Energy* 9, 159-W.
- [2] [2] R.L. San Martin and G.J. Field, 1975, " Experimental performance of three solar collectors", *Solar Energy* 17, 345-349.

- [3] [3] Sutrisno, 2002, "Studi Eksperimental Kolektor Surya dengan Pemanas Air Dengan Menggunakan Plat Absorber Gelombang," Tugas Akhir Teknik Mesin, ITS, Surabaya.
- [4] [4] Wang Shing-An, 1979, " An experimental study of corrugated steel sheet solar water heater", *Solar Energy* 23, 333-341.
- [5] [5] Lee, J.H., Chung, M & Park, W.H, 1987, " An experimental and theoretical study on the corrugated water-trickle collector".
- [6] [6] Duffie J.A. dan Beckman W.A, 1991, *Solar Engineering of Thermal Processes*,. Second Edition, John Willey and Sons inc, New York.
- [7] [7] Frank P. Incropera dan David P. Dewitt, 1996, *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*, Fifth Edition, John Wilely and Sons inc, New York.
- [8] [8] Moran M.J. dan Shapiro H.N., 1996, *Fundamental of Engineering Thermodynamics*, Fourth Edition, John Willey and Sons inc, New York.