

Studi Eksperimental Efektivitas Penambahan *Annular Fins* pada Kolektor Surya Pemanas Air dengan Satu dan Dua Kaca Penutup

Edo Wirapraja dan Bambang Arip Dwiyantoro

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

Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111 Indonesia

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

Abstrak- Energi surya banyak dimanfaatkan untuk pemanas air dengan menggunakan kolektor surya. Kolektor surya terdiri dari kaca penutup, plat penyerap, dan insulasi. Salah satu kolektor yang sering digunakan adalah kolektor surya plat datar. Untuk meningkatkan efisiensi dari kolektor surya adalah dengan menambahkan fin yang bertujuan untuk memperluas luasan penyerapan panas. Salah satu bentuk fin yang dapat digunakan adalah fin berbentuk *annular*. Penelitian ini dilakukan dengan memvariasikan jumlah kaca penutup yaitu satu dan dua kaca penutup. Selain itu juga memvariasikan debit aliran yang mengalir yaitu 225 liter/jam, 475 liter/jam, 730 liter/jam, dan 1000 liter/jam. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa temperatur air keluar kolektor surya setelah pemanasan selama 6 jam dengan satu kaca penutup untuk debit 1000 liter/jam adalah 41,6°C. Untuk debit 730 liter/jam adalah 42,9°C. Untuk debit 475 liter/jam adalah 44,2°C. Untuk debit 225 liter/jam adalah 45,3°C. Sedangkan untuk dua kaca penutup didapat temperatur air keluar untuk debit 1000 liter/jam, 730 liter/jam, 475 liter/jam dan 225 liter/jam adalah 42,6°C, 43,4°C, 46,2°C dan 47,6°C. Dengan temperatur air keluar yang didapat dari hasil penelitian dibandingkan dengan hasil temperatur air keluar menggunakan kolektor tanpa penambahan fin dapat disimpulkan bahwa kolektor dengan penambahan fin lebih efisien dari pada tanpa penambahan fin. Variasi debit juga berpengaruh terhadap performansi kolektor. Untuk debit 1000 liter/jam memiliki efisiensi paling tinggi sedangkan debit 225 liter/jam memiliki efisiensi paling rendah.

Kata kunci- kolektor surya, *annular fin*, debit, kaca penutup.

I. PENDAHULUAN

Salah satu cara untuk mengurangi lelah dan stress akibat aktivitas kerja yang tinggi adalah dengan mandi air hangat. Pada umumnya, air hangat didapatkan dengan memanfaatkan pemanas tenaga listrik, gas atau minyak bumi. Seperti yang kita ketahui saat ini suplai listrik sangat terbatas. Sama halnya dengan pemanas air yang menggunakan energi gas, sebagaimana kita ketahui bahwa minyak bumi dan gas merupakan sumber daya alam yang tidak dapat diperbaharui, yang tentunya akan habis apabila digunakan secara terus-menerus

Indonesia sangat berpotensi menjadikan energi surya sebagai salah satu sumber energi masa depan mengingat posisi Indonesia terletak pada daerah khatulistiwa. Matahari di Indonesia mampu bersinar hingga 2.000 jam per tahunnya. Sayangnya sekali jika sinar matahari yang cukup melimpah di Indonesia dibiarkan begitu saja. Salah satu pemanfaatan energi surya adalah penggunaan kolektor surya untuk memanaskan air dengan mengumpulkan energi matahari yang sampai ke permukaan bumi dan mengubahnya kembali menjadi energi kalor yang berguna. Ada beberapa macam jenis tipe kolektor surya yang

tentunya untuk berbagai keperluan sesuai dengan kebutuhan. Salah satu tipe kolektor yang paling sering digunakan adalah kolektor surya plat datar. Untuk hasil pemanasan yang lebih maksimal plat kolektor tersebut dicat dengan warna hitam yang berfungsi untuk menyerap radiasi surya yang dipancarkan oleh matahari. Untuk menjaga agar tidak terjadi kerugian panas secara radiasi dan konveksi ke lingkungan sekitar, maka digunakan kaca pelindung dan pada sisi samping maupun bawah ditambahkan *glass woll* yang dapat mengisolasi terjadinya kebocoran panas yang dihasilkan oleh pelat kolektor surya.

Salah satu cara meningkatkan efisiensi dari kolektor surya adalah dengan menambahkan fin pada pipa-pipa yang mengalirkan fluida. Dengan penambahan fin ini maka akan mengakibatkan luas permukaan pipa yang menerima panas akan semakin besar dengan demikian maka air dalam pipa tersebut dapat lebih panas. Banyak sekali bentuk-bentuk fin yang digunakan dan salah satu bentuk fin yang dapat digunakan adalah fin berbentuk *annular*.

II. URAIAN PENELITIAN

A. Penelitian Terdahulu

Berbagai penelitian terdahulu mengenai kolektor surya plat datar telah banyak dilakukan diantaranya oleh Tri wiradhani [1]. Dia melakukan penelitian tentang rancang bangun pemanas air tenaga surya dengan menggunakan kolektor surya plat datar. Tri membuat kolektor berbentuk box yang terbuat dari kayu dan dilapisi glass woll. Tebal kaca penutup yang digunakan adalah 5 mm. Uji coba menggunakan 4 variasi debit dan dilakukan pada pukul 09.00-15.00. Hasil yang didapat dari penelitian ini adalah temperatur air keluar maksimal adalah 43,1°C.

B. Analisa Perpindahan Panas Pada Kolektor Surya

Perpindahan panas yang terjadi pada kolektor surya antara lain konveksi, konduksi dan radiasi. Energi radiasi matahari yang diterima plat absorber sebagian dimanfaatkan menjadi energi berguna (Q_u) dan mengalami kerugian panas ke arah atas (U_a) dan ke arah bawah (U_b).

1) Analisa Perpindahan panas Antara Cover dan Udara Luar

Perhitungan koefisien perpindahan panas antara kaca penutup dengan lingkungan sekitar dimulai dengan mencari koefisien perpindahan panas konveksi antara kaca penutup dengan lingkungan sekitar kemudian mencari koefisien perpindahan panas radiasi antara kaca penutup dengan lingkungan.

a. Konveksi

Koefisien perpindahan panas konveksi yang disebabkan oleh angin yang berhembus diatas kaca penutup yaitu:

Nilai Reynold number:

$$Re_{kp-\infty} = \frac{\rho_{udara} \cdot V_{udara} \cdot L}{\mu_{udara}} \quad (1)$$

dimana : $Re_{kp-\infty}$ = bilangan reynold

ρ_{udara} = massa jenis udara ($\frac{Kg}{m^3}$)

V_{udara} = kecepatan ($\frac{m}{s}$)

L = panjang kaca (m)

μ_{udara} = viskositas dinamis udara ($\frac{Ns}{m^2}$)

Nilai Nusselt number:

$$\overline{Nu}_{kp-\infty} = 0,664 Re_{kp-\infty}^{\frac{1}{2}} Pr^{\frac{1}{3}} \quad (2)$$

dimana : $Nu_{kp-\infty}$ = bilangan nusselt

Pr = bilangan prandtl

Sehingga didapat koefisien konveksi:

$$h_{kp-\infty} = \frac{Nu \cdot k_{kp}}{L} \quad (3)$$

dimana : $h_{kp-\infty}$ = koefisien konveksi ($\frac{W}{m^2K}$)

k_{kp} = konduktivitas termal udara ($\frac{W}{mK}$)

b. Radiasi

Koefisien perpindahan panas radiasi pada kaca penutup ke udara luar dapat dihitung dengan persamaan:

$$h_{r_{kp-\infty}} = \varepsilon \sigma (T_{kp} + T_{\infty})(T_{kp}^2 + T_{\infty}^2) \quad (4)$$

dimana : $h_{r_{kp-\infty}}$ = koefisien radiasi ($\frac{W}{m^2K}$)

ε = emisivitas kaca

σ = konstanta Stefan-Bolzman ($5,67 \cdot 10^{-8} \frac{W}{m^2K}$)

T_{kp} = temperatur kaca ($^{\circ}K$)

T_{∞} = temperatur udara ($^{\circ}K$)

Hambatan total antara kaca penutup dengan lingkungan:

$$R_{kp-\infty} = \frac{1}{h_{kp-\infty} + h_{r_{kp-\infty}}} \quad (5)$$

2) Analisa Perpindahan Panas Antara Kaca Penutup dengan Pipa

a. Konveksi

Koefisien perpindahan panas antara kaca penutup dengan pipa dapat dicari dengan persamaan:

Nilai Rayleigh number:

$$Ra_{kp-p} = \frac{g\beta\Delta TD^3}{\nu_{kolektor}\alpha_{kolektor}} \quad (6)$$

dimana : Ra_{kp-p} = bilangan Rayleigh

g = percepatan gravitasi ($\frac{m}{s^2}$)

β = koefisien ekspansi volumetrik ($\frac{1}{K}$)

ΔT = perbedaan temperatur

D = diameter pipa

$\nu_{kolektor}$ = viskositas kinematik ($\frac{m^2}{s}$)

$\alpha_{kolektor}$ = thermal diffusivity ($\frac{m^2}{s}$)

Nilai Nusselt number:

$$\overline{Nu}_{kp-p} = \left\{ 0,60 + \frac{0,387 Ra_{kp-p}^{\frac{1}{6}}}{\left[1 + \left(\frac{0,559}{Pr} \right)^{\frac{9}{16}} \right]^{\frac{8}{27}}} \right\}^2 \quad (7)$$

dimana : Nu_{kp-p} = bilangan nusselt

Pr = bilangan prandtl

Sehingga didapat koefisien konveksi:

$$h_{kp-p} = \frac{Nu_{kp-p} \cdot k_{kolektor}}{D} \quad (8)$$

dimana : h_{kp-p} = koefisien konveksi ($\frac{W}{m^2K}$)

$k_{kolektor}$ = konduktivitas termal udara didalam kolektor ($\frac{W}{mK}$)

b. Perpindahan Panas Melewati Fin

$$\eta_f = \frac{q_f}{q_{max}} = \frac{q_f}{hA_f\theta_b} \quad (9)$$

$$q_f = \sqrt{hPkA_c\theta_b} \frac{\sin mL + \frac{h}{km} \cosh mL}{\cosh mL + \frac{h}{km} \sinh mL} \quad (10)$$

dimana : η_f = efisiensi satu fin

q_f = perpindahan panas pada fin (W)

h = koefisien konveksi disekitar fin ($\frac{W}{m^2K}$)

P = tebal fin (m)

θ_b = perbedaan temperatur fin dengan udara sekitar (K)

q_{max} = perpindahan panas jika seluruh fin bertemperatur sama dengan akar fin

Efisiensi total dari fin:

$$\eta_o = 1 - \frac{NA_f}{A_t} (1 - \eta_f) \quad (11)$$

$$A_f = 2\pi \left[\left(r_2 + \frac{t}{2} \right)^2 - r_1^2 \right] \quad (12)$$

$$A_t = NA_f + (2\pi D_o L) \quad (13)$$

dimana : η_o = efisiensi total fin

N = jumlah fin

A_f = luas permukaan fin (m^2)

A_t = luas total fin (m^2)

c. Radiasi

Koefisien perpindahan panas radiasi pada kaca penutup dengan pipa dapat dihitung dengan persamaan:

$$h_{r_{kp-p}} = \varepsilon \sigma (T_p + T_k)(T_p^2 + T_k^2) \quad (14)$$

dimana : $h_{r_{kp-p}}$ = koefisien radiasi ($\frac{W}{m^2K}$)

ε = emisivitas kaca

σ = konstanta Stefan-Bolzman ($5,67 \cdot 10^{-8} \frac{W}{m^2K}$)

T_p = temperatur pipa ($^{\circ}K$)

T_k = temperatur udara didalam kolektor ($^{\circ}K$)

Hambatan total antara kaca penutup dengan pipa:

$$R_{kp-p} = 2 \frac{1}{\eta_o h_{kp-p} + h_{r_{kp-p}}} \quad (15)$$

3) Analisa Perpindahan Panas Antara Pipa dengan Air

a. Konduksi

Koefisien perpindahan panas konduksi dapat dicari dengan persamaan:

$$R_{p-f} = \frac{\ln\left(\frac{D_o}{D_i}\right)}{k_p} \quad (16)$$

dimana : D_o = diameter luar pipa (m)

D_i = diameter dalam pipa (m)

k_p = konduktivitas termal pipa $\left(\frac{W}{mK}\right)$

b. Konveksi

Koefisien perpindahan panas konveksi antara pipa dengan air dapat dicari dengan persamaan:

Nilai Reynold number:

$$R_{e_{p-f}} = \frac{\rho_{air} \cdot V_{air} \cdot D}{\mu_{air}} \quad (17)$$

dimana : $R_{e_{p-f}}$ = bilangan Reynold

ρ_{air} = massa jenis air $\left(\frac{kg}{m^3}\right)$

V_{air} = kecepatan air $\left(\frac{m}{s}\right)$

D = diameter pipa (m)

μ_{air} = viskositas dinamis air $\left(\frac{Ns}{m^2}\right)$

Nilai Nusselt number:

$$Nu_{p-f} = 0,023 R_{e_{p-f}}^{0.4} P_r^{0.33} \quad (18)$$

dimana : Nu_{p-f} = bilangan Nusselt

P_r = bilangan Prandtl

Koefisien perpindahan panas konveksi antara pipa dan air:

$$h_{p-f} = \frac{Nu \cdot k_{air}}{D} \quad (19)$$

dimana : $h_{kp-\infty}$ = koefisien konveksi $\left(\frac{W}{m^2K}\right)$

k_{air} = konduktivitas termal air $\left(\frac{W}{mK}\right)$

Hambatan total antara pipa dengan air:

$$R_{p-f} = 2 \left(\frac{\ln\left(\frac{D_o}{D_i}\right)}{k_p} + \frac{1}{h_{p-f}} \right) \quad (20)$$

4) Analisa Perpindahan Panas Antara Kaca Penutup dengan Plat Absorber

a. Konveksi

Nilai Reynold number:

$$Ra_{kp-pa} = \frac{g\beta\Delta TL^3}{\nu_{kolektor}\alpha_{kolektor}} \quad (21)$$

dimana : Ra_{kp-pa} = bilangan Rayleigh

g = percepatan gravitasi $\left(\frac{m}{s^2}\right)$

β = koefisien ekspansi volumetrik $\left(\frac{1}{K}\right)$

ΔT = perbedaan temperatur

L = jarak antara kaca dan plat absorber

$\nu_{kolektor}$ = viskositas kinematik $\left(\frac{m^2}{s}\right)$

$\alpha_{kolektor}$ = thermal diffusivity $\left(\frac{m^2}{s}\right)$

Nilai Nusselt number:

$$\overline{Nu}_{u_{kp-pa}} = 0,27 Ra_{kp-pa}^{1/4} \quad (22)$$

Sehingga didapat koefisien konveksi:

$$h_{kp-pa} = \frac{Nu \cdot k_{kolektor}}{L} \quad (23)$$

dimana : h_{kp-pa} = koefisien konveksi $\left(\frac{W}{m^2K}\right)$

$k_{kolektor}$ = konduktivitas termal udara didalam kolektor $\left(\frac{W}{mK}\right)$

b. Radiasi

$$h_{r_{kp-pa}} = \varepsilon\sigma(T_{pa} + T_k)(T_{pa}^2 + T_k^2) \quad (24)$$

Hambatan total antara kaca penutup dengan plat absorber:

$$R_{kp-pa} = \frac{1}{h_{kp-pa} + h_{r_{kp-pa}}} \quad (25)$$

5) Analisa Perpindahan Panas Pada Bagian Bawah

$$R_b = \frac{L_{pa}}{K_{pa}} + \frac{L_{gw}}{K_{gw}} + \frac{L_t}{K_t} \quad (26)$$

dimana : L_{pa} = tebal plat absorber (m)

L_{gw} = tebal glass wool (m)

L_t = tebal tripleks (m)

K_{pa} = konduktivitas termal plat absorber $\left(\frac{W}{mK}\right)$

K_{gw} = konduktivitas termal glass wool $\left(\frac{W}{mK}\right)$

K_t = konduktivitas termal tripleks $\left(\frac{W}{mK}\right)$

Sehingga koefisien kehilangan panas total dari kolektor adalah:

$$U_L = \frac{1}{R_{kp-\infty} + \frac{R_{kp-pa}(R_{kp-p} + R_{p-f})}{R_{kp-pa} + R_{kp-p} + R_{p-f}}} + \frac{1}{R_b} \quad (27)$$

Untuk menghitung besarnya faktor efisiensi kolektor dapat menggunakan persamaan berikut:

$$m = \sqrt{\frac{U_L}{k\delta}} \quad (28)$$

$$F = \frac{\tanh\left(\frac{m(W-D)}{2}\right)}{\left(\frac{m(W-D)}{2}\right)} \quad (29)$$

$$F' = \frac{\frac{1}{U_L}}{W \left[\frac{1}{U_L(D + (W-D)F)} \right] + \frac{1}{\pi Dh_{kp-a}}} \quad (30)$$

dimana : U_L = kehilangan panas total $\left(\frac{W}{m^2}\right)$

W = jarak antar pipa (m)

D = diameter pipa (m)

F = efisiensi fin

h_{kp-a} = koefisien konveksi antara pipa dengan air $\left(\frac{W}{m^2K}\right)$

Sedangkan besarnya collector flow factor adalah:

$$F'' = \frac{\dot{m}C_p}{A_c U_L F'} \left[1 - \exp\left(-\frac{A_c U_L F'}{\dot{m}C_p}\right) \right] \quad (31)$$

dimana : \dot{m} = laju aliran massa air $\left(\frac{kg}{s}\right)$

C_p = panas spesifik $\left(\frac{KJ}{kgK}\right)$

A_c = luasan kolektor (m^2)

F' = faktor efisiensi kolektor

Faktor pelepasan panas (F_R) untuk kolektor surya adalah sebagai berikut:

$$F_R = F' \cdot F'' \quad (32)$$

Energi berupa panas yang berguna dari kolektor surya adalah sebagai berikut:

$$Q_{u_{desain}} = A_c F_R [S - U_L(T_i - T_{\infty})] \quad (33)$$

dimana : $Q_{u\text{desain}}$ = energi berguna secara desain (W)
 F_R = faktor pelepasan panas kolektor
 S = intensitas radiasi matahari yang diterima plat absorber ($\frac{W}{m^2}$)
 T_i = temperatur air masuk kolektor (K)
 T_o = temperatur udara sekitar (K)

Sedangkan energi berguna dari kolektor surya secara aktual menurut hukum termodinamika adalah:

$$Q_{u\text{aktual}} = \dot{m}c_p(T_o - T_i) \quad (34)$$

dimana : $Q_{u\text{aktual}}$ = energi berguna secara aktual (W)
 T_o = temperatur air keluar kolektor (K)

Sedangkan efisiensi kolektor surya adalah sebagai berikut:

$$\eta_{\text{desain}} = \frac{Q_{u\text{desain}}}{A_c I_T} \quad (35)$$

dan

$$\eta_{\text{aktual}} = \frac{Q_{u\text{aktual}}}{A_c I_T} \quad (36)$$

dimana : η_{desain} = efisiensi kolektor secara desain

η_{aktual} = efisiensi kolektor secara aktual

A_c = luas kolektor (m^2)

I_T = intensitas radiasi matahari yang diterima kolektor ($\frac{W}{m^2}$)

III. METODOLOGI PENELITIAN

A. Prinsip Pengujian

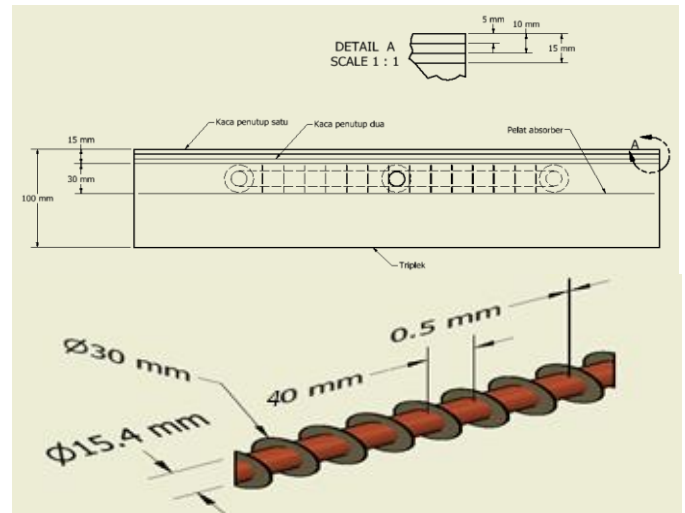
Penelitian ini dilaksanakan di lingkungan kampus jurusan Teknik Mesin ITS yang terletak pada posisi $7,3^\circ\text{LS}$ dan antara $112,8^\circ\text{BT}$ dengan ketinggian daerah ± 8 meter diatas permukaan laut. Waktu penelitian pukul 09.00 WIB sampai 15.00 WIB dengan rentan pengambilan data 60 menit.

B. Perencanaan Alat

Gamabr 1 adalah system pemanas air tenaga surya yang digunakan dalam penelitian ini. Kolektor surya berfungsi untuk mengumpulkan energi radiasi matahari dan mengubahnya menjadi energi panas yang selanjutnya akan digunakan untuk memanaskan air didalam pipa tembaga.



Gambar 1. Sistem Pemanas Air Tenaga Surya

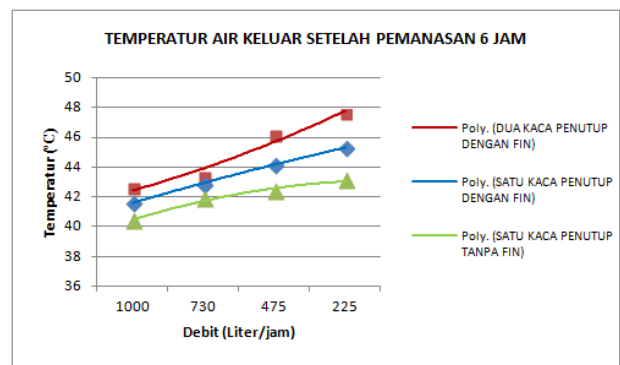


Gambar 2. Kolektor dan Pemasangan Fin pada Pipa

Plat penyerap dari kolektor surya ini terbuat dari seng ukuran 1,5 m x 0,5 m yang dicat hitam dengan tebal 2 mm. Sedangkan pada pipa tembaga berdiameter dalam ($D_i=1,5\text{cm}$) dan diameter luar ($D_o=1,54\text{cm}$) dipasang fin berbentuk *annular* dengan diameter 3 cm dan tebal 0,5 mm. Gambar 2 menunjukkan kolektor dan pemasangan fin pada pipa. Sebagai kaca penutup digunakan kaca bening ukuran 1,5m x 0,5m dengan tebal 5 mm. Untuk mengurangi kerugian panas kearah samping dan bawah digunakan isolator *glass wool* dengan tebal 5cm.

IV. HASIL DAN ANALISA

A. Pembahasan Grafik Efektivitas Penambahan Fin dengan Variasi Debit



Gambar 3. Grafik Temperatur Air Keluar Setelah Pemanasan 6 Jam dengan Variasi Penambahan Fin, Variasi Debit dan Jumlah Kaca Penutup

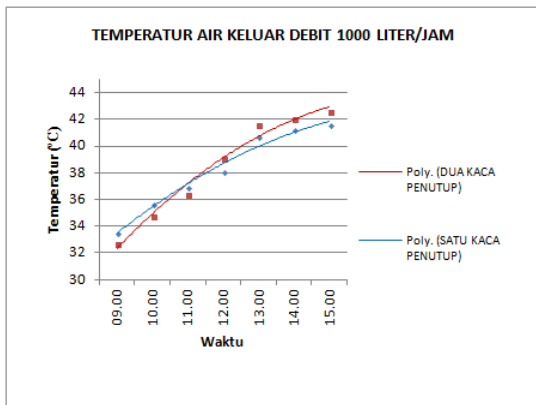
Pada gambar 3 kita dapat melihat bahwa ketika debit divariasikan 1000 liter/jam, 730 liter/jam, 475 liter/jam dan 225 liter/jam, serta divariasikan terhadap penambahan fin dan jumlah kaca penutup. Didapat temperatur air keluar tertinggi adalah saat debit 225 liter/jam sedangkan pengaruh penambahan fin terhadap temperatur air keluar adalah penambahan fin memberikan temperatur air keluar lebih tinggi dari pada tanpa fin. Hal ini terlihat untuk kolektor dengan penambahan fin temperatur air keluar adalah $45,3^\circ\text{C}$ sedangkan kolektor tanpa fin memiliki temperatur air keluar $43,1^\circ\text{C}$. Sedangkan untuk variasi jumlah kaca penutup didapat bahwa dengan penggunaan dua kaca penutup didapat temperatur air keluar lebih tinggi. Hal ini terlihat dari temperatur air keluar untuk debit 1000 liter/jam, 730 liter/jam, 475 liter/jam dan 225 liter/jam untuk dua kaca

penutup adalah 42,6°C , 43,4°C , 46,2°C dan 47,6°C sedangkan untuk satu kaca penutup didapat 41,6°C , 42,9°C , 43,9°C dan 45,3°C

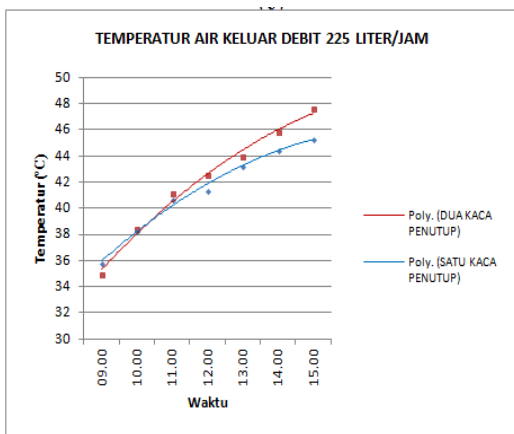
Hal ini terjadi karena temperatur air keluar berkaitan dengan banyaknya energi berguna yang ditransfer ke air melalui pipa. Semakin luas permukaan pipa maka semakin banyak energi yang ditransfer ke air. Penambahan fin ini bertujuan untuk memperluas luasan penyerapan panas pada pipa. Sedangkan untuk penambahan jumlah kaca penutup mengakibatkan kehilangan panas ke bagian atas semakin kecil sehingga temperatur didalam kolektor semakin tinggi.

B. Pembahasan Grafik Temperatur Air Keluar Untuk Masing-Masing Variasi Debit Aliran Fluida

Pada gambar 4 dan 5 kita dapat melihat bahwa ketika kolektor divariasikan dengan debit 1000 liter/jam dan 225 liter/jam serta divariasikan terhadap jumlah kaca penutup. Untuk variasi jumlah kaca penutup adalah satu dan dua kaca penutup. Maka kita dapat temperatur air tertinggi didapat pada kolektor dengan dua kaca penutup dan temperatur air keluar terendah didapat pada kolektor dengan satu kaca penutup. Sedangkan pengaruh perubahan debit air terhadap temperatur air keluar adalah semakin kecil debit air maka temperatur air keluar semakin tinggi. Hal ini dapat kita lihat ketika kolektor dengan dua kaca penutup diset pada debit 225 liter/jam menghasilkan temperatur air keluar paling tinggi yaitu 47,3°C. Untuk kolektor dengan satu kaca penutup dan diset pada debit 1000 liter/jam menghasilkan temperatur air keluar paling rendah yaitu 41,6°C.



Gambar 4. Grafik Temperatur Air Keluar Pada Debit 1000 Liter/Jam

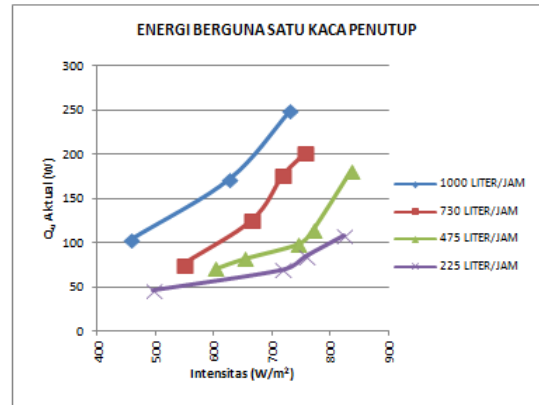


Gambar 5. Grafik Temperatur Air Keluar Pada Debit 225 Liter/Jam

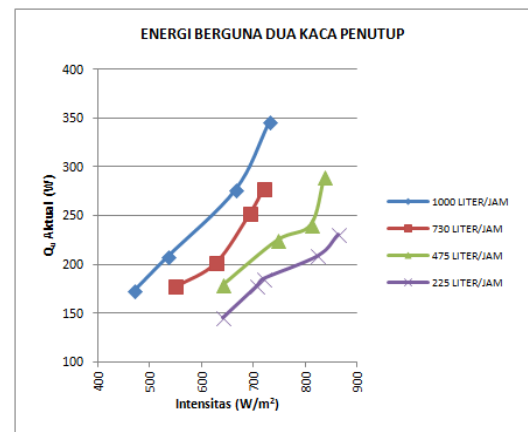
Hal ini terjadi karena energi yang dihasilkan untuk memanaskan air berkaitan dengan koefisien kehilangan panas total (U_L) pada kolektor. Semakin kecil nilai U_L maka

Q_u semakin besar dimana Q_u adalah energi berguna yang digunakan untuk memanaskan air. Hal ini sesuai dengan rumus $Q_u = A_c F_R [S - U_L(T_i - T_{\infty})]$. Temperatur air keluar juga berkaitan dengan laju aliran massa (\dot{m}) dimana \dot{m} berkaitan dengan debit air yang mengalir didalam kolektor. Semakin rendah \dot{m} maka temperatur air keluar semakin tinggi. Hal ini sesuai dengan rumus $Q_u = \dot{m} c_p (T_o - T_i)$ dimana Q_u , dan C_p untuk masing-masing debit kita anggap sama sehingga semakin kecil \dot{m} maka temperatur air keluar semakin tinggi.

C. Pembahasan Grafik Energi Berguna Fungsi Intensitas



Gambar 6. Grafik Energi Berguna Aktual untuk Satu Kaca Penutup



Gambar 7. Grafik Energi Berguna Aktual Untuk Dua Kaca Penutup

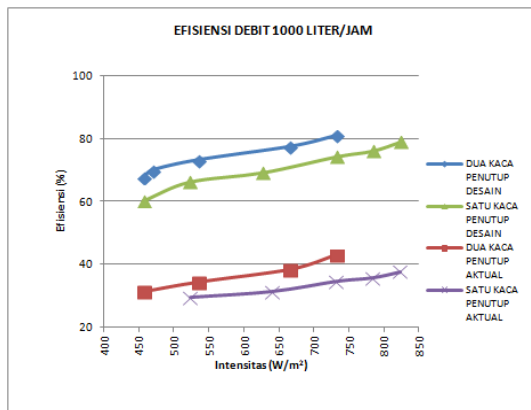
Pada gambar 6 dan 7 kita dapat melihat hubungan antara energi yang diserap oleh air (Q_u) terhadap intensitas. Dari grafik diatas terlihat bahwa tren grafik Q_u berubah berdasarkan intensitas. Pada intensitas 700 W/m^2 untuk satu kaca penutup energi yang diserap oleh air pada debit 1000 liter/jam adalah yang paling tinggi yaitu 245 W, sedangkan debit 730 liter/jam adalah 150 W, Q_u untuk debit 475 liter/jam adalah 80 W dan Q_u terendah adalah saat debit 225 liter/jam yaitu 70 W.

Hal ini terjadi karena Q_u juga bergantung terhadap *mass flow rate* (\dot{m}) dimana \dot{m} mempengaruhi reynold number (Re). Semakin tinggi nilai Re maka nilai koefisien konveksi (h) antara pipa dan air semakin tinggi sehingga Q_u yang diserap semakin besar.

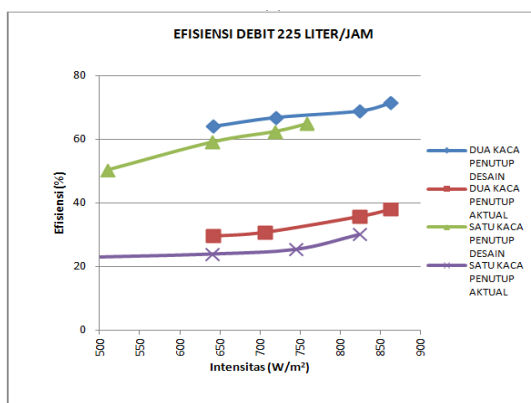
D. Pembahasan Grafik Efisiensi Aktual dengan Variasi Debit

Dari gambar 8 dan 9 terlihat bahwa efisiensi secara desain untuk satu kaca penutup mempunyai tren grafik berkisar antara 50% hingga 78% dengan intensitas yang

berubah. Sedangkan untuk dua kaca penutup berkisar antara 62% hingga 80%. Perubahan tersebut dikarenakan nilai U_L yang berubah tergantung pada kondisi saat pengambilan data seperti perubahan kecepatan udara, temperatur plat, temperatur penutup, dan lain-lain. Pada grafik secara desain terlihat bahwa efisiensi tertinggi didapat dari debit aliran yang lebih besar. Hal ini disebabkan karena pada debit aliran yang lebih besar mempunyai nilai laju aliran massa yang lebih tinggi sehingga memperbesar nilai faktor pelepasan panas (F_R).



Gambar 8. Grafik Efisiensi Untuk Debit 1000 Liter/Jam



Gambar 9. Grafik Efisiensi Untuk Debit 225 Liter/Jam

Berbeda dengan efisiensi secara aktual yang menggunakan persamaan termodinamika yang cenderung mengalami peningkatan terus seiring dengan meningkatnya debit aliran. Dimana pada batas tertentu semakin besar nilai laju aliran massa akan meningkatkan nilai energi berguna (Q_u) sehingga menyebabkan efisiensi aktual juga meningkat.

V. KESIMPULAN/RINGKASAN

Penelitian ini menyimpulkan hal-hal sebagai berikut:

1. Temperatur air keluar untuk debit 1000 liter/jam dengan pemanasan air mulai pukul 09.00-15.00 adalah 41,3°C. Untuk debit 730 liter/jam adalah 42,4°C. Untuk debit 475 liter/jam adalah 44,2°C. Untuk debit 225 liter/jam adalah 45,2°C.
2. Peformansi kolektor surya dengan penambahan fin lebih baik dari pada tanpa penambahan fin. Hal ini dapat dilihat dari temperatur air keluar untuk masing-masing debit pada kolektor dengan penambahan fin lebih tinggi dari pada tanpa penambahan fin. Perbedaan temperatur ini dikarenakan luasan penyerapan panas pada pipa sehingga semakin banyak energi yang ditransfer ke air.
3. Semakin besar debit fluida yang mengalir didalam pipa, maka Q_u yang dihasilkan akan semakin besar. Hal ini

dikarenakan koefisien konveksi antara pipa dan air meningkat seiring bertambahnya debit sehingga energi yang diserap semakin besar. Peningkatan Q_u ini juga menyebabkan efisiensi yang didapat juga semakin besar

4. Efisiensi aktual terbesar terjadi pada pukul 12.00 dimana intensitas pada jam tersebut paling tinggi dan ketika debit air diset 1000 liter/jam pada kolektor dengan dua kaca penutup yaitu sebesar 52,48%
5. Nilai Q_u secara desain mempunyai nilai lebih tinggi dari pada nilai Q_u aktual. Hal ini dikarenakan nilai properties yang diambil pada perhitungan desain diambil dari tabel. Sedangkan perhitungan aktual digunakan pada saat setelah pengambilan data dengan memperhatikan kondisi masuk dan keluar saja. Sehingga lebih teliti

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Wiradhani, Tri. 2011. *Rancang Bangun Pemanas Air Tenaga Surya dengan Menggunakan Kolektor Surya Plat Datar*. FTI -ITS, Jurusan D3 Teknik Mesin.