

Pengaruh Sudut Kemiringan Kolektor Surya Pelat Datar terhadap Efisiensi Termal dengan Penambahan Eksternal *Annular Fin* pada Pipa

Unggul Dwi Setyadi dan Bambang Arip Dwiyantoro
Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111 Indonesia
email : bambangads@me.its.ac.id

Abstrak—Kemajuan jaman saat ini banyak sekali penemuan-penemuan teknologi tentang penggunaan energi alternatif yang ramah lingkungan sebagai upaya penghematan energi. Salah satunya adalah memanfaatkan energi surya. Energi surya sebagai energi alternatif yang dirasakan sesuai dengan kondisi saat ini karena disamping murah juga bersifat renewable. Alat yang digunakan untuk menyerap energi surya salah satunya adalah pemanas air kolektor surya pelat datar. Dimensi dari kolektor itu sendiri adalah 500 mm x 1500 mm Untuk meningkatkan efisiensi dari kolektor dengan cara memperluas permukaan penyerapan panas yaitu menggunakan sirip (fin) berbentuk annular. Metodologi penelitian yang dilakukan adalah menggunakan satu dan dua kaca penutup pada kolektor dengan cara memvariasikan sudut kemiringan kolektor sebesar 10°, 20°, dan 30° pada debit air tetap yaitu 1000 liter/jam.. interval waktu pengambilan data dilakukan selang waktu 1 jam sekali selama 6 jam perhari mulai pukul 09.00 WIB sampai dengan pukul 15.00 WIB. Pengambilan data dilakukan selama 12 hari pada bulan juni 2014. Parameter yang diukur adalah intensitas cahaya (I_T), kecepatan angin (V_w), temperatur udara luar ($T_{\infty 1}$), temperatur antar kaca penutup ($T_{\infty 2}$), temperatur dalam kolektor ($T_{\infty 3}$), temperatur permukaan kaca satu (T_{c1}), temperatur permukaan kaca dua (T_{c2}), temperatur permukaan pipa tembaga (T_{sc}), temperatur permukaan pelat absorber (T_{sp}), temperatur air masuk kolektor (T_i), temperatur air keluar kolektor (T_o), temperatur triplek (T_T). Dari hasil penelitian didapatkan temperatur air keluar kolektor tertinggi terjadi pada sudut kemiringan kolektor 30 derajat yaitu sebesar 42,8 °C dengan intensitas matahari (I_T) rata-rata 764,71 W/m² untuk 1 kaca penutup, sedangkan untuk 2 kaca penutup temperatur sebesar 44,8 °C dengan intensitas matahari (I_T) rata-rata 790,85 W/m². Dari semua sudut kemiringan, efisiensi rata – rata solar kolektor satu kaca penutup 51,98%, dan untuk efisiensi rata – rata solar kolektor dua kaca penutup 56,21%. Sehingga efisiensi rata – rata solar kolektor dua kaca penutup 4,23% lebih baik dibandingkan efisiensi rata – rata solar kolektor satu kaca penutup.

Kata Kunci—Dua kaca penutup, kolektor surya pelat datar, satu kaca penutup, sudut kemiringan kolektor.

I. PENDAHULUAN

KEMAJUAN jaman saat ini banyak sekali penemuan-penemuan teknologi tentang penggunaan energi alternatif yang ramah lingkungan sebagai upaya penghematan energi yang menggunakan fosil. Salah satunya adalah memanfaatkan energi surya. Energi surya sebagai energi alternatif yang dirasakan sesuai dengan kondisi saat ini karena disamping murah juga bersifat renewable dan tersedia sangat melimpah di daerah tropis khususnya negara Indonesia yang dilalui garis khatulistiwa. Energi surya yang

sampai ke bumi, dapat dikumpulkan dan diubah menjadi energi panas yang berguna melalui suatu alat yang dinamakan kolektor surya.

Kolektor surya kebanyakan menggunakan pelat datar sebagai absorber dan fluida kerja melewati pipa. Salah satu cara untuk meningkatkan output energi berguna (*usefull energy*) dari kolektor tenaga surya, yaitu memperluas permukaan penyerapan panas (pipa yang dialiri fluida kerja). Memperluas permukaan bidang penyerapan panas dapat dilakukan dengan menambah luas permukaan pipa menggunakan penambahan fin model seperti cincin (*annular fin*) yang melingkari pipa sepanjang panjang pipa dengan jarak tertentu antar fin. Dimensi fin berdiameter 30 mm dengan tebal 0,55 mm dan jarak antar fin adalah 40 mm. Penggunaan fin disini dimaksudkan untuk menyerap panas lebih banyak karena luasannya ditambah sehingga nantinya akan berpengaruh terhadap panas yang diterima air yang mengalir didalam pipa, semakin banyak panas yang diterima maka akan semakin cepat proses pemanasannya. Dan cara yang kedua adalah dengan cara memvariasi sudut kemiringan kolektor, sudut kemiringan kolektor divariasi sebesar 10°, 20°, 30° ini dimaksudkan untuk mencari intensitas yang paling baik antara ketiga variasi sudut tersebut. Dari pemikiran awal ini, nampaknya penggunaan fin pada pipa dan variasi sudut kemiringan akan meningkatkan efisiensi kolektor surya.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Kolektor Surya Pelat Datar

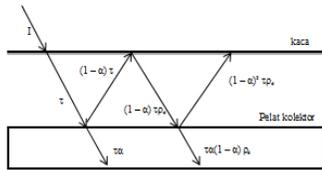
Kolektor surya pelat datar berfungsi untuk menyerap energi radiasi matahari. Radiasi yang diterima permukaan penutup transparan kolektor, sebagian besar diteruskan dan kemudian diterima pelat kolektor yang bekerja sebagai pengumpul energi. Pelat kolektor menjadi sumber radiasi memancarkan energi radiasi kembali ke permukaan dalam penutup transparan kolektor, tetapi radiasinya tidak mampu menembus penutup dengan adanya radiasi yang terperangkap dalam rumah kaca. Akibat kasus ini menyebabkan temperatur di dalam ruang menjadi panas dibandingkan dengan temperatur lingkungan

Kolektor surya memiliki bagian-bagian utama, diantaranya:

- Pelat penyerap
- Penutup transparan
- Isolator

Berkas radiasi matahari yang menimpa kolektor, pertama akan menembus penutup transparan (kaca), kemudian

menimpa pelat penyerap. Radiasi ini sebagian diserap oleh pelat penyerap, sebagian yang lain dipantulkan kembali. Pantulan dari pelat penyerap tersebut akan dipantulkan kembali oleh penutup kaca. Sehingga akan terjadi proses pemantulan yang terulang. Hal ini ditunjukkan pada gambar 1 berikut:



Gambar 1 Penyerapan radiasi oleh pelat penyerap[1]

Bila sejumlah energi radiasi menimpa kolektor, maka energi sebesar $(\tau\alpha)$ akan diserap oleh pelat penyerap dan sebesar $(1 - \alpha) \tau$ dipantulkan kembali ke penutup. Pantulan dari pelat penyerap dianggap sebagai radiasi hambur (diffusi radiation), sehingga $(1 - \alpha) \tau$ yang mengenai penutup merupakan radiasi hambur, dan $(1 - \alpha) \tau_d$ dipantulkan kembali ke pelat penyerap. Proses pemantulan tersebut terus berulang.

Maksimum energi yang dapat diserap kolektor adalah:

$$(\tau \varnothing) = \tau \varnothing [(1 - \alpha) \rho_d]^n = \frac{\tau \alpha}{1 - (1 - \alpha) \rho_d} \quad (1)$$

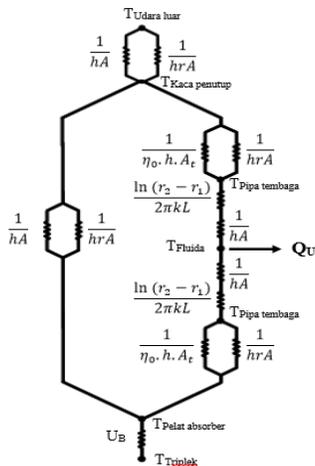
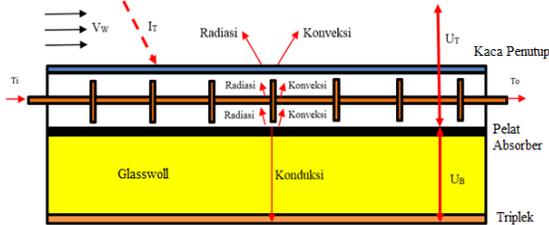
Untuk pendekatan perhitungan kolektor dapat digunakan:

$$(\tau \varnothing)_{av} \approx 1,01 \tau \alpha \quad (2)$$

Dimana: τ adalah transmisivitas penutup dan α adalah absorpsivitas pelat penyerap. Perkalian transmisivitas-absorpsivitas rata-rata $(\tau \varnothing)_{av}$ didefinisikan sebagai radiasi perbandingan radiasi matahari yang diserap kolektor (S) terhadap radiasi matahari yang menimpa kolektor (I_T). Sehingga radiasi matahari yang diserap oleh permukaan pelat penyerap adalah:

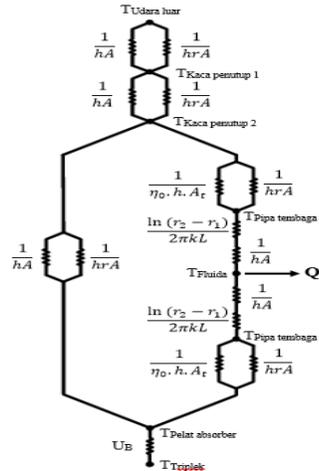
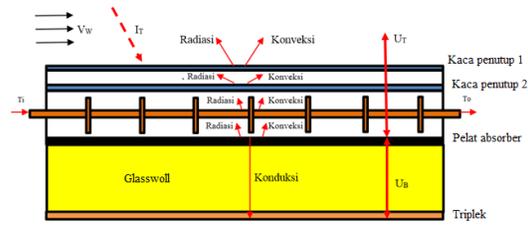
$$S = (\tau \varnothing)_{av} e I_T = 1,01. \tau \alpha I_T \quad (3)$$

B. Tahanan Termal Satu kaca Penutup



Gambar 2 Skema tahanan termal satu kaca penutup

C. Tahanan Termal Dua Kaca Penutup



Gambar 3 Skema tahanan termal dua kaca penutup

D. Analisa Perhitungan

Untuk mendapatkan nilai kehilangan panas total pada kolektor surya (bisa dilihat pada gambar 2 dan gambar 3) dapat dicari menggunakan rumus:

Kerugian panas bagian atas:

- Rangkaian thermal pada penutup ke lingkungan yaitu:

$$R_{c-\infty 1} = \frac{1}{hA + h_r A} \quad (4)$$

- Rangkaian thermal pada penutup dua ke kaca penutup satu yaitu:

$$R_{c1-c2} = \frac{1}{hA + h_r A} \quad (5)$$

- Rangkaian thermal pada pelat absorber ke kaca penutup yaitu:

$$R_{a b s c} = \frac{1}{hA + h_r A} \quad (6)$$

- Rangkaian thermal pada pelat absorber ke pipa yaitu:

$$R_{a b s p} = \frac{1}{\eta_0 \cdot h \cdot A_t + h_r A} \quad (7)$$

- Rangkaian thermal pada pipa ke kaca penutup yaitu:

$$R_{p-c} = \frac{1}{\eta_0 \cdot h \cdot A_t + h_r A} \quad (8)$$

- Rangkaian thermal pada fin ke fluida yaitu:

$$R_{p-f} = \frac{\ln(r_2/r_1)}{2\pi k L} + \frac{1}{hA} \quad (9)$$

Kerugian panas bagian bawah:

$$R_b = \frac{L_{a b s}}{K_{a b s}} + \frac{L_{g w}}{K_{g w}} + \frac{L_t}{K_t} \quad (10)$$

Sehingga kerugian panas total untuk 1 kaca penutup (gambar 2):

$$U_L = \frac{1}{R_{c-\infty} + \left(\frac{R_{c-p} + (R_{c-p} + R_{p-f})}{R_{c-p} + (R_{c-p} + R_{p-f})} \right) + R_b} \quad (11)$$

Sedangkan untuk 2 kaca penutup, kerugian panas totalnya (gambar 3) adalah:

$$U_L = \frac{1}{R_{c1-\infty} + R_{c1-c2} + \left(\frac{R_{c2-a} b \cdot (R_{c2-p} + R_{p-f})}{R_{c2-a} b \cdot (R_{c2-p} + R_{p-f})} \right) + R_b} \quad (12)$$

Setelah mendapatkan nilai U_L , selanjutnya mencari nilai faktor pelepasan panas, rumusnya adalah sebagai berikut:

$$F_R = \frac{F_1}{2F_3} \left\{ 1 + \left[\frac{2F_4 F_5}{F_6 e \times (1 - 2F_3 \sqrt{1 - F_2^2}) + F_5} - \frac{1}{F_2} - F_4 \right] \right\} \quad (13)$$

Energi berupa panas pada kolektor surya dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$Q_{u \text{ kolektor}} = A_c F_R [S - U_L (T_i - T_a)] \quad (14)$$

Sedangkan energi yang digunakan sebagai pemanas air adalah sebagai berikut:

$$Q_{u \text{ pemanas air}} = \dot{m} c_p (T_o - T_i) \quad (15)$$

Efisiensi kolektor surya pemanas air dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

$$\eta_{s \text{ kolektor}} = \frac{Q_{u \text{ kolektor}}}{A_c I_T} \quad (16)$$

III. METODOLOGI PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimen dan kajian matematis. Kegiatan penelitian ini dibuat model penambahan luasan pada pipa tembaga (fin), dimana fin yang digunakan berbentuk annular, serta menggunakan satu dan dua kaca penutup yang diharapkan dapat menyerap panas lebih banyak. Penelitian ini juga memvariasi sudut kemiringan kolektor sebesar 10°, 20°, dan 30° yang dimaksudkan untuk mendapat intensitas paling baik. Penelitian dilaksanakan di gedung lantai 2 Teknik Mesin ITS Surabaya pada bulan juni 2014. Pengambilan data dilakukan selama 12 hari.



Gambar 4 Gambar instalasi penelitian

Pada pengujian ini akan dilakukan pengambilan data sebanyak 2 kali untuk masing-masing variasi jumlah kaca penutup dan variasi debit. Untuk gambar instalasi percobaan dapat dilihat pada gambar 4. Kaca penutup yang digunakan sebanyak satu dan dua buah, sehingga waktu yang digunakan untuk pengambilan data adalah 12 hari. Pada masing-masing pengujian terdiri dari 3 tahap. Adapun penjelasan masing-masing tahap akan dijelaskan sebagai berikut:

- a. Tahap persiapan
 1. Mempersiapkan dan memastikan dalam kondisi baik peralatan yang digunakan
 2. Merangkai peralatan alat ukur

b. Tahap pengambilan data

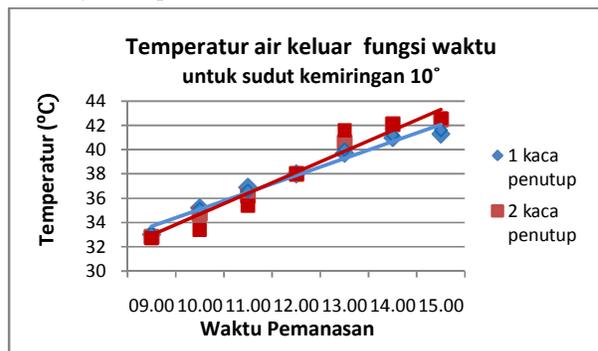
1. Pastikan peralatan sudah terpasang pada tempatnya
2. Menyalakan pompa
3. Mengatur posisi kolektor surya menghadap ke utara.
4. Memvariasikan sudut kemiringan kolektor dengan mengatur kemiringan kolektor mulai 10°, 20°, sampai 30°.
5. Ambil data meliputi:
 - Intensitas cahaya, I_T . Kecepatan angin, V_w
 - Temperatur udara luar (ambient), $T_{\infty 1}$
 - Temperatur antar kaca penutup (dua kaca penutup), $T_{\infty 2}$
 - Temperatur dalam kolektor, $T_{\infty 3}$
 - Temperatur permukaan kaca satu, T_{c1}
 - Temperatur permukaan kaca dua, T_{c2}
 - Temperatur permukaan pipa tembaga (base), T_{sc}
 - Temperatur permukaan pelat absorber, T_{sp}
 - Temperatur air masuk kolektor, T_i
 - Temperatur air keluar kolektor, T_o
 - Temperatur triplek, T_T

c. Tahap akhir

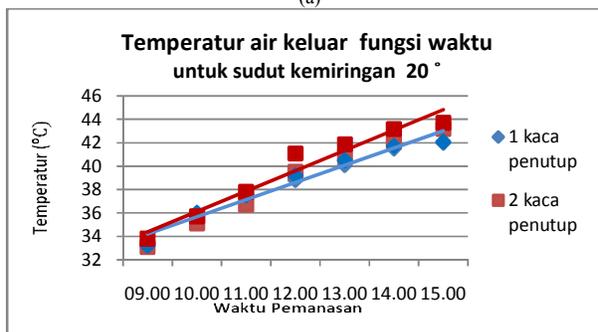
1. Matikan pompa
2. Amankan peralatan ukur

IV. ANALISA DAN PEMBAHASAN

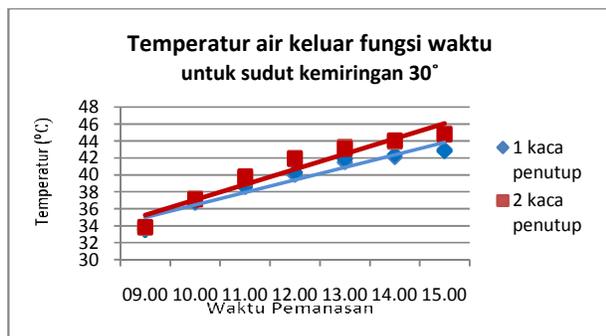
A. Grafik Temperatur Air Keluar



(a)



(b)



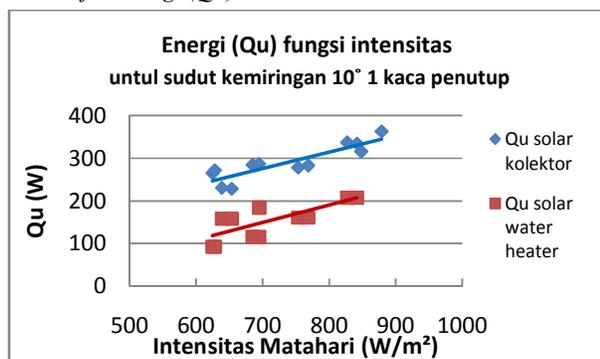
(c)

Gambar 5 Grafik temperatur air keluar pada sudut kemiringan (a) 10 derajat, (b) 20 derajat, (c) 30 derajat

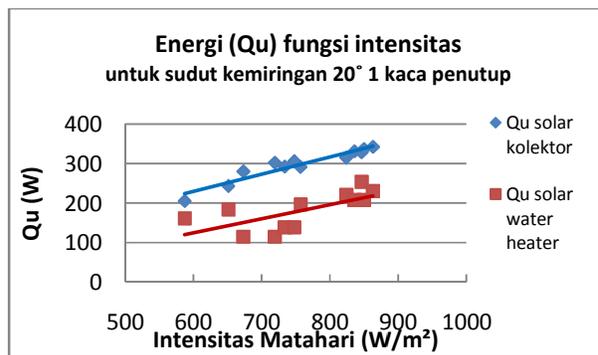
Pada gambar 5 diatas dapat dilihat bahwa kolektor divariasikan sudut kemiringan 10 derajat, 20 derajat, 30 derajat serta divariasikan jumlah kaca penutup yaitu satu dan dua kaca penutup. Untuk masing-masing variasi sudut kemiringan, pada dua kaca penutup temperatur air keluar lebih tinggi daripada temperatur air keluar dibandingkan dengan satu kaca penutup. Dapat dilihat pada grafik yang sama-sama 10 derajat nilai temperatur air keluar satu kaca penutup sebesar 41,3 °C dan nilai temperatur air keluar dua kaca penutup sebesar 42,3 °C, untuk 20 derajat nilai temperatur air keluar satu kaca penutup sebesar 42,1 °C dan nilai temperatur air keluar dua kaca penutup sebesar 43,7 °C, untuk 30 derajat nilai temperatur air keluar satu kaca penutup sebesar 42,8 °C dan nilai temperatur air keluar dua kaca penutup sebesar 44,8 °C.

Hal ini terjadi karena pada dua kaca penutup efek rumah kaca lebih kecil daripada satu kaca penutup sehingga temperatur di dalam kolektor lebih tinggi dibandingkan satu kaca penutup. Radiasi dari matahari yang dipantulkan kembali oleh pelat absorber lebih sedikit pada dua kaca penutup dibandingkan satu kaca penutup. Untuk dua kaca penutup temperatur didalam kolektor lebih tinggi akibatnya proses untuk memanaskan air lebih cepat dibandingkan satu kaca penutup.

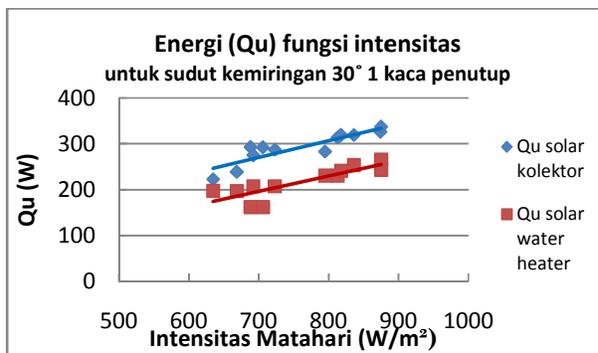
B. Grafik Energi (Qu)



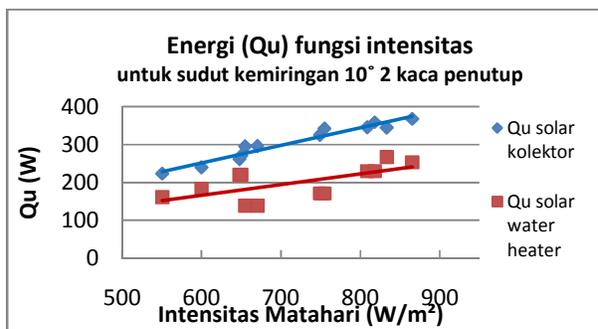
(a)



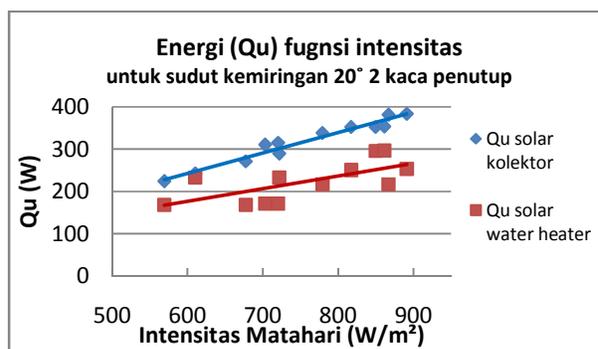
(b)



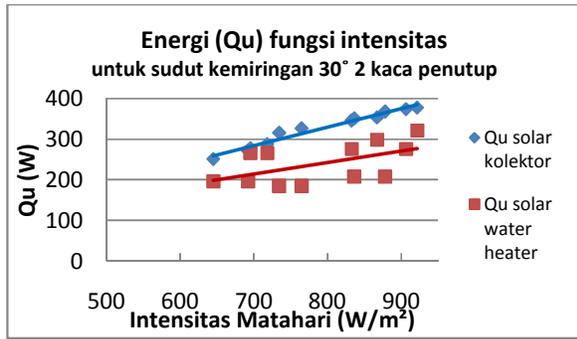
(c)



(d)



(e)

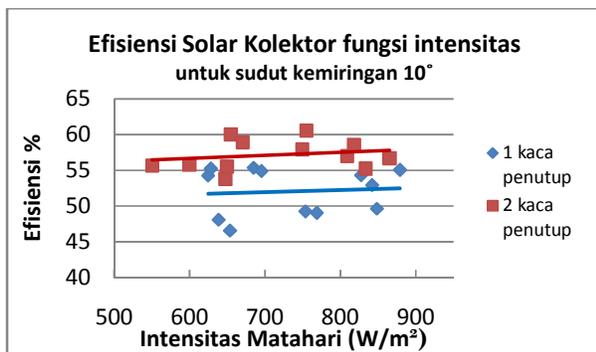


(f)

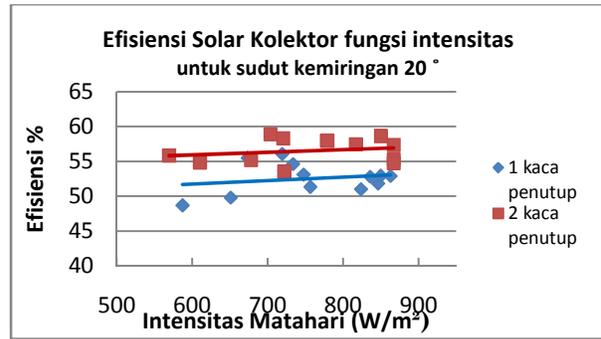
Gambar 6 Grafik energi (Qu) untuk 1 kaca penutup (a) 10 derajat, (b) 20 derajat, (c) 30 derajat dan 2 kaca penutup (d) 10 derajat, (e) 20 derajat, (f) 30 derajat

Dari gambar 6 diatas dapat kita lihat bahwa dari semua variasi sudut kemiringan kolektor dan jumlah kaca penutup, nilai Q_u solar kolektor lebih tinggi daripada nilai Q_u solar water heater. Nilai intensitas berbanding lurus dengan nilai Q_u , semakin besar nilai intensitas matahari maka semakin tinggi nilai Q_u . Pada sudut kemiringan 10 derajat nilai Q_u solar kolektor paling besar adalah $367,92 \text{ W/m}^2$ dengan intensitas matahari $865,30 \text{ W/m}^2$, nilai Q_u solar water heater paling besar adalah $253,6 \text{ W/m}^2$ dengan intensitas matahari $865,30 \text{ W/m}^2$. Pada sudut kemiringan 20 derajat nilai Q_u solar kolektor paling besar adalah $383,39 \text{ W/m}^2$ dengan intensitas matahari $891,35 \text{ W/m}^2$, nilai Q_u solar water heater paling besar adalah $296,36 \text{ W/m}^2$ dengan intensitas matahari $891,35 \text{ W/m}^2$. Pada sudut kemiringan 30 derajat nilai Q_u solar kolektor paling besar adalah $378,22 \text{ W/m}^2$ dengan intensitas matahari $717,84 \text{ W/m}^2$, nilai Q_u solar water heater paling besar adalah $322,26 \text{ W/m}^2$ dengan intensitas matahari $717,84 \text{ W/m}^2$. Perbedaan nilai antara Q_u solar kolektor dengan Q_u solar water heater ini disebabkan karena untuk Q_u solar kolektor banyak faktor yang mempengaruhi dalam perhitungannya, seperti U_L, F_R, T_{∞} . Sesuai dengan rumus $Q_u = A_c F_R [S - U_L (T_i - T_{\infty})]$. Sedangkan untuk Q_u solar water hanya memperhitungkan nilai temperatur air yang keluar dan yang masuk kolektor. Sesuai dengan rumus $Q_u = \dot{m} c_p (T_o - T_i)$.

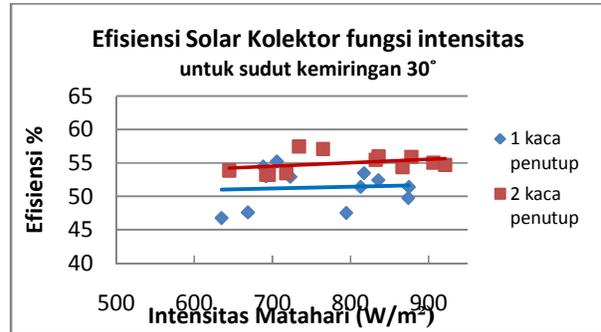
C. Grafik Efisiensi Solar Kolektor



(a)



(b)



(c)

Gambar 7 Grafik efisiensi solar kolektor pada sudut kemiringan (a) 10 derajat, (b) 20 derajat, (c) 30 derajat

Pada gambar 7 diatas terlihat bahwa efisiensi solar kolektor cenderung konstan seiring bertambahnya nilai intensitas matahari. Untuk efisiensi 2 kaca penutup nilainya lebih tinggi dibandingkan dengan 1 kaca penutup. Pada sudut kemiringan 10° , efisiensi rata – rata solar kolektor 2 kaca penutup yaitu $57,13\%$, $5,08\%$ lebih baik dibandingkan efisiensi rata – rata 1 kaca penutup yaitu $52,05\%$. Pada sudut kemiringan 20° , efisiensi rata – rata solar kolektor 2 kaca penutup yaitu $56,52\%$, $3,96\%$ lebih baik dibandingkan efisiensi rata – rata 1 kaca penutup yaitu $52,56\%$. Pada sudut kemiringan 30° , efisiensi rata – rata solar kolektor 2 kaca penutup yaitu $54,99\%$, $3,66\%$ lebih baik dibandingkan efisiensi rata – rata 1 kaca penutup yaitu $51,33\%$. Dari semua sudut kemiringan, efisiensi rata – rata solar kolektor satu kaca penutup $51,98\%$, dan untuk efisiensi rata – rata solar kolektor dua kaca penutup $56,21\%$. Sehingga dapat disimpulkan efisiensi rata – rata solar kolektor dua kaca penutup $4,23\%$ lebih baik dibandingkan efisiensi rata – rata solar kolektor satu kaca penutup.

V. KESIMPULAN

Dari penelitian yang telah dilakukan dan analisa grafik yang telah dibuat pada bab-bab sebelumnya maka selanjutnya dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Dengan penambahan fin, temperatur air keluar lebih tinggi dibandingkan tanpa fin. Tanpa fin temperatur air keluar sebesar $40,6^\circ\text{C}$ dengan fin temperatur air keluar sebesar $41,3^\circ\text{C}$. Secara keseluruhan dari sudut kemiringan kolektor, temperatur air keluar pada 2 kaca penutup lebih tinggi daripada 1 kaca penutup. Satu kaca penutup temperatur tertinggi sebesar $42,8^\circ\text{C}$ dengan intensitas matahari (I_T) rata-rata $764,71 \text{ W/m}^2$, sedangkan untuk 2 kaca penutup temperatur tertinggi sebesar $44,8^\circ\text{C}$ dengan intensitas matahari (I_T) rata-rata

790,85 W/m². Hal ini dikarenakan pada 2 kaca penutup efek rumah kaca lebih kecil daripada 1 kaca penutup sehingga temperatur di dalam kolektor 2 kaca penutup lebih tinggi.

2. Energi solar kolektor yang tertinggi adalah pada sudut kemiringan 20 derajat dan dua kaca penutup yaitu sebesar 383,39 W dengan intensitas matahari (I_T) 891,35 W/m². Dan untuk energi solar water heater yang tertinggi adalah pada sudut kemiringan 30 derajat dan dua kaca penutup yaitu sebesar 322,26 W/m² dengan intensitas matahari (I_T) 717,84 W/m². Energi (Q_u) solar kolektor lebih besar dibandingkan energi (Q_u) solar water heater, hal ini dikarenakan banyak faktor yang mempengaruhi dalam perhitungannya, seperti F_R , U_L , T_{∞} . Sedangkan untuk energi (Q_u) solar water heater hanya memperhitungkan nilai temperatur air yang keluar dan masuk kolektor.
3. Dari semua sudut kemiringan, efisiensi rata – rata solar kolektor satu kaca penutup 51,98%, dan untuk efisiensi rata – rata solar kolektor dua kaca penutup 56,21%. Sehingga dapat disimpulkan efisiensi rata – rata solar kolektor dua kaca penutup 4,23% lebih baik dibandingkan efisiensi rata – rata solar kolektor satu kaca penutup.

UCAPAN TERIMA KASIH

Alhamdulillah, segala puji dan syukur kami panjatkan kehadirat Allah SWT. Karena atas rahmat dan hidayah-Nyapenelitianini dapat disusun dan diselesaikan dengan baik dan lancar. Banyak dorongan dan bantuan yang penulis dapatkan selama penyusunan artikel ini sampai terselesaikannya penelitian ini. Untuk itu penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih dan penghargaan sebesar-besarnya kepada :

1. Allah SWT dan junjungan besar Nabi Muhammad SAW yang telah memberikan ketenangan dalam jiwaku.
2. Dr. Bambang Arip D, S.T., M.Eng.sebagai Dosen Pembimbing yang telah dengan sangat sabar, tidak bosan-bosannya membantu dan memberikan ide serta ilmu hingga terselesaikannya penelitian ini.
3. Ayah dan Ibuku tercinta yang benar - benar memberikan dorongan dan semangat dengan cinta dan kasih sayangnya yang tiada batas dan tak terbalaskan, doa dan restunya.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Duffie J. A And Beckmann W. A. (1991). *Solar Engineering of Thermal Processes*, Second Edition. John Willey and Sons, Inc. New York.