

**STUDI EKSPERIMENTAL EFEKTIVITAS
PENAMBAHAN *ANNULAR FINS* PADA KOLEKTOR
SURYA PEMANAS AIR DENGAN SATU DAN DUA
KACA PENUTUP**

Nama Mahasiswa : Edo Wirapraja

NRP : 2112105041

Jurusan : Teknik Mesin, FTI-ITS

Dosen Pembimbing : Bambang Arip D,ST,M.Eng,Ph.D

ABSTRAK

Ketersediaan energi surya tidak terbatas dan pemanfaatannya telah berkembang pesat. 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 1000liter/jam. Dimensi kolektor yang digunakan adalah panjang 1500 mm, lebar 500 mm, dan tinggi

100 mm. Interval waktu pengambilan data dilakukan pukul 09.00-15.00 WIB dengan rentan pengambilan data 1 jam.

Dari hasil penelitian ini didapat temperatur air keluar 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, Penambahan fin, Debit

**EXPERIMENTAL STUDY ON THE EFFECTIVENESS OF
ADDING ANNULAR FINS COLLECTORS SOLAR
WATER HEATING WITH ONE AND TWO GLASS
COVER**

Student Name : Edo Wirapraja
NRP : 2112105041
Department : Mechanical Engineering, FTI-ITS
Counselor Lecture : Bambang Arip D,ST,M.Eng,Ph.D

ABSTRACT

The availability of solar energy is unlimited and utilization has been growing rapidly. Solar energy is widely used for heating water using solar collectors. Solar collector consists of a glass cover, absorber plate, and insulation. One collector who often used is a flat plate solar collector. To improve the efficiency of solar collector is to add fins that aims to expand the extent of absorption of heat. One form that can be used fin is a annular fin.

This research was carried out by varying the number of glass cover that is one and two cover glass. In addition, varying the flow rate flowing is 225 liters / hour, 475 liters / hour, 730liters/hour, and 1000liter/hour. Dimensions of collector used is 1500 mm long, 500 mm wide and 100 mm high. The data capture time interval 09.00-15.00 pm with 1 hour vulnerable data retrieval.

From these results obtained temperature of the water out after heating for 6 hours with a glass cover and flow rate

1000liters / hour is 41.6 ° C, flow rate 730 liters / hour is 42.9 ° C, flow rate 475 liters / hour is 44.2 ° C and flow rate 225 liters/hour is 45.3 ° C. As for the two glass cover to come out for the discharge water temperature with flowrate 1000 liters / hour, 730liters / hour, 475 liters / hour and 225 liters / h is 42.6 ° C, 43.4 ° C, 46.2 ° C and 47.6 ° C. With the exit water temperature obtained from the results of the study compared with the results of using the collector temperature of the water out without addition of a fin can be concluded that the collector is more efficient with the addition of the fin without adding fin. Variasi discharge also affects the performance of the collector. To discharge 1000 liters/hour has the highest efficiency while discharge 225 liters/hour have the lowest efficiency.

Keywords: Solar Collector, Addition of fins, Flow Rate

DAFTAR SIMBOL

- K : Koefisien konduksi bahan
- A : Luasan Permukaan bahan
- q_{kond} : Perpindahan panas konduksi
- T_s : Temperatur permukaan
- T_∞ : Temperatur udara sekitar
- ΔT : Perbedaan temperatur
- h : Koefisien konveksi
- U_L : Koefisien perpindahan panas
keseluruhan
- h_r : Koefisien radiasi
- T_b : Temperatur dasar
- T_f : Temperatur sirip

r	: Jari-jari
L	: Panjang
w	: Lebar
t	: Tebal
q_f	: Perpindahan panas pada sirip
η_f	: Efisiensi sirip tunggal
η_o	: Efisiensi total
N	: banyak sirip
A_b	: Luas base
A_f	: Luas fin
ρ	: Massa jenis
V	: Kecepatan
D	: Diameter
μ	: Viskositas Absolut
N_u	: Nusselt number

R_e : Reynolds number

P_r : Prandlt number

C_p : Kalor spesifik

T_f : Temperatur film

q'' : Fluks panas

σ : Konstanta Stefan-Bolzmann

ε : Emisivitas

τ : Transmisivitas

α : Absorsivitas

I_T : Radiasi total matahari

Q_u : Energi berguna

F_R : Faktor pelepasan panas

\dot{m} : Laju aliran massa

Q : Debit fluida

T_{sp} : Temperatur permukaan plat

absorber

T_i : Temperatur fluida masuk

T_o : Temperatur fluida keluar

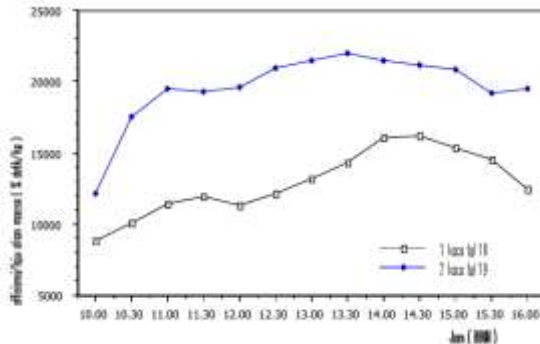
T_{sg} : Temperatur permukaan kaca

BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1. Tinjauan Pustaka

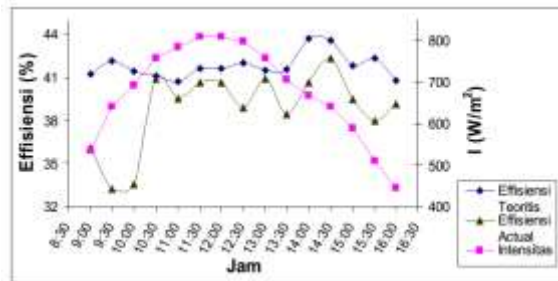
Sejumlah penelitian telah mempelajari kolektor surya yang digunakan untuk memanaskan air dengan konfigurasi berbeda.

Ekadewi (1999) meneliti tentang unjuk kerja pemanas air jenis kolektor surya plat datar dengan satu dan dua kaca penutup. Ekadewi melakukan penelitian dengan cara meletakkan kolektor dengan kemiringan 10° menghadap ke utara. Kaca penutup pada kolektor yang digunakan berjumlah 1 buah dan 2 buah. Jarak antara plat dan kaca penutup adalah 3 cm. Hasil yang didapat dari pengujian ini adalah dengan menggunakan dua kaca penutup diperoleh efisiensi yang lebih baik dibandingkan hanya menggunakan satu kaca penutup.



Gambar 2.1. Efisiensi per laju aliran massa air.[6]

Moharto dkk (2004) melakukan penelitian tentang efektivitas penyerapan panas sinar matahari oleh air yang mengalir dalam pipa. Penelitian ini menggunakan 3 jenis bahan plat kolektor yaitu aluminium, seng dan besi yang masing-masing dicat hitam. Dari hasil penelitian ini didapat aluminium merupakan bahan terbaik dibanding dengan besi dan seng.



Gambar 2.2. Hubungan jam vs efisiensi dan itensitas pada aluminium.[7]

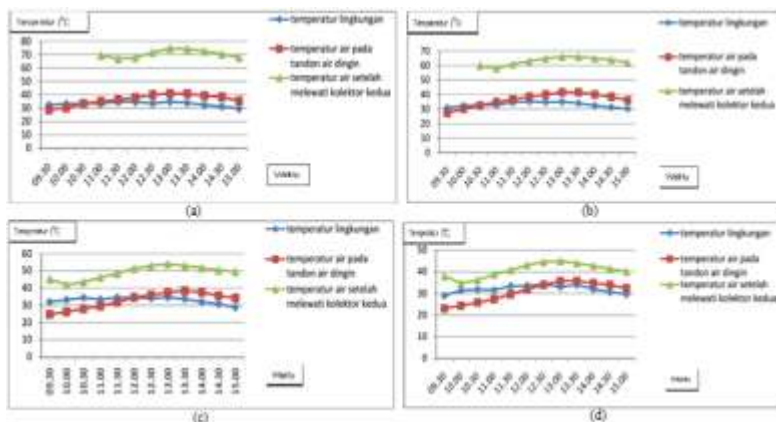
Sucipta dan kawan-kawan(2010), menganalisa performa kolektor surya pelat bersirip dengan memvariasikan luas permukaan sirip, dimana untuk luas permukaan sirip ini dapat ditunjukkan oleh tinggi rendahnya sirip yaitu $t_{s1} = 2,5$ cm, $t_{s2} = 5$ cm, dan $t_{s3} = 7,5$ cm. Kolektor pertama menggunakan pelat penyerap berupa lembaran yang ditambahkan sirip pada bagian atas, sedangkan kolektor kedua siripnya ditambahkan pada bagian bawah, kedua kolektor tersebut juga memvariasikan aliran udara yaitu diatas pelat penyerap dan dibawah pelat penyerap.



Gambar 2.4 Perbandingan temperatur udara keluar aktual dan udara masuk untuk tinggi sirip 7,5 cm.[5]

Puji astuti (2010) melakukan penelitian tentang desain sistem pemanas air menggunakan radiasi sinar matahari. Penelitian ini menggunakan dua buah kolektor dengan ukuran masing-masing 50x50x2 cm dan dicat hitam. Untuk mengurangi

kerugian panas ke lingkungan maka plat kolektor diletakkan didalam kotak yang terbuat dari kaca transparan. Puji melakukan variasi debit pada penelitian ini. Dari hasil penelitian yang telah dilakukan bahwa semakin besar debit air maka temperatur yang didapat lebih rendah daripada debit air yang lebih kecil.



Gambar 2.3. Grafik temperatur rata-rata pada temperatur lingkungan, air pada tandon air dingin dan temperatur air panas setelah melewati kolektor kedua vs waktu pengamatan : (a) Debit 0,04 liter/menit. (b) Debit 0,09 liter/menit. (c) Debit 0,13 liter/menit. (d) Debit 0,18 liter/menit.[4]

Tri wiradhani (2011) 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 wool. 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.

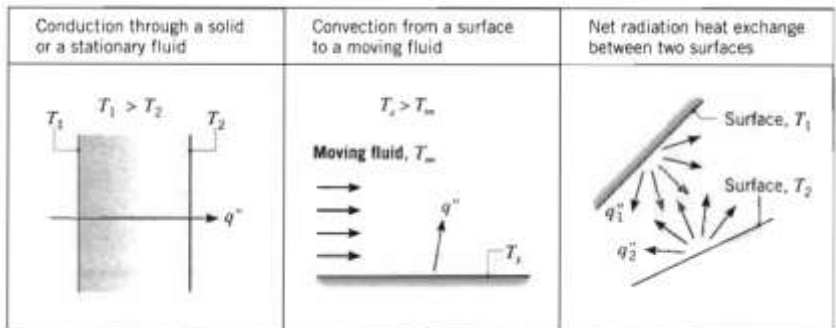


Gambar 2.5. Temperatur air keluar vs waktu pemanasan.[8]

2.2. Perpindahan Panas

Perpindahan panas adalah energi panas yang berpindah karena perbedaan suhu. Perpindahan panas akan terjadi apabila dua media yang mempunyai perbedaan temperatur, dimana panas akan berpindah dari media yang mempunyai temperatur tinggi menuju media yang bertemperatur rendah. Perpindahan panas dikelompokkan menjadi 3 metode :

1. Konduksi
2. Konveksi
3. Radiasi



Gambar 2.6 Metode perpindahan panas yang berlangsung secara konduksi, konveksi, dan radiasi.[1]

2.2.1. Perpindahan Panas Konduksi

Jika membicarakan tentang konduksi, tentu saja kita meninjau konsep aktivitas atom dan molekul karena perpindahan panas konduksi merupakan suatu mekanisme perubahan energi dari suatu benda ke benda yang lain yang disebabkan adanya gerakan random dari molekul, bagian yang bertemperatur lebih tinggi atau yang memiliki energi yang lebih besar akan mengalirkan energinya ke bagian yang bertemperatur lebih rendah atau yang memiliki energi yang lebih kecil. Untuk menghitung proses perpindahan panas secara konduksi dapat digunakan hukum Fourier. Untuk bidang datar satu dimensi yang ditunjukkan pada gambar 2.7 dan memiliki distribusi temperatur $T(x)$ dinyatakan:

$$q_x = -KA \frac{dT}{dx} \dots \dots \dots (1)$$

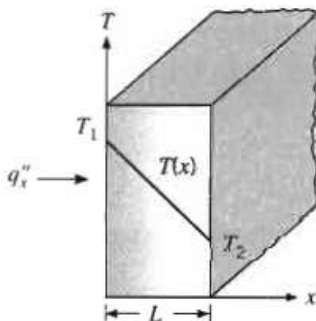
Dimana:

q_x = Laju perpindahan panas, (W)

$\frac{dT}{dx}$ = Gradien temperatur konduksi, $\left(\frac{K}{m}\right)$

K = Koefisien konduksi bahan $\left(\frac{W}{mK}\right)$

A = Luasan Permukaan bahan, (m^2)



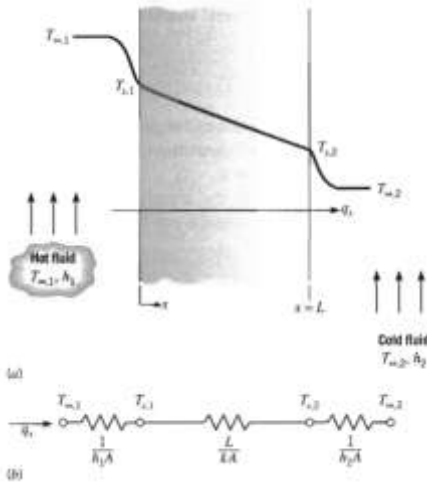
Gambar 2.7 Perpindahan panas konduksi pada dinding datar.[1]

Jika kondisi steady state, dimana distribusi temperatur secara linier. Gradien temperatur yang terlihat pada gambar 2.7 menjadi $\frac{dT}{dx} = \frac{T_2 - T_1}{L}$ sehingga perpindahan panas

$$q_x = -KA \frac{T_2 - T_1}{L} \dots \dots \dots (2)$$

2.2.1.1. Konduksi pada Dinding Datar

Konduksi satu dimensi pada dinding datar, distribusi temperatur hanya kearah satu sumbu saja misalnya sumbu x, sehingga perpindahan panas hanya terjadi kearah x saja.



Gambar 2.8 Perpindahan panas pada dinding datar. (a)Distribusi temperatur (b)sirkuit thermal.[1]

Pada gambar diatas terlihat panas berpindah secara konveksi dari udara di bagian dalam ke dinding dalam, kemudian dilanjutkan dengan konduksi dari dinding dalam ke dinding luar, lalu diteruskan lagi dengan konveksi dari dinding luar ke udara luar.

Untuk kasus perpindahan panas seperti diatas, peristiwa difusi panas dianalogikan dengan arus listrik dan hambatan listrik dianalogikan dengan hambatan perpindahan panas, serta beda

potensial dianalogikan dengan beda temperatur. Sehingga laju perpindahan panas dapat ditulis:

$$q_{\text{kond}} = \frac{\Delta T}{R_{\text{kond}}} = \frac{(T_2 - T_1)}{R_{\text{kond}}} \dots \dots \dots (3)$$

R_{kond} disebut hambatan perpindahan panas konduksi. Analisa yang sama diterapkan pada kasus konveksi, maka didapat laju perpindahan panas konveksi:

$$q_{\text{kond}} = \frac{\Delta T}{R_{\text{kond}}} = \frac{(T_s - T_\infty)}{R_{\text{kond}}} \dots \dots \dots (4)$$

Dalam suatu rangkaian hambatan listrik arus yang mengalir di tiap-tiap hambatan sama, dan analoginya laju perpindahan panas pada tiap-tiap hambatan perpindahan panas juga sama, yaitu:

$$q_x = \frac{(T_{\infty 1} - T_1)}{\frac{1}{h_{\infty 1}}} = \frac{(T_2 - T_1)}{\frac{L}{kA}} = \frac{(T_2 - T_{\infty 2})}{\frac{1}{h_{\infty 1}}} \dots \dots \dots (5)$$

Dan juga dapat ditulis dalam bentuk beda temperatur total:

$$q_x = \frac{(T_{\infty 1} - T_{\infty 2})}{R_{\text{tot}}} = \frac{\Delta T}{R_{\text{tot}}} \dots \dots \dots (6)$$

Dimana:

$$R_{\text{tot}} = \frac{1}{h_{\infty 1}A} + \frac{L}{kA} + \frac{1}{h_{\infty 2}A} \dots \dots \dots (7)$$

R_{tot} disebut hambatan perpindahan panas keseluruhan (*overall heat transfer resistant*). Persamaan diatas dapat ditulis dalam bentuk lain yaitu:

$$q_x = UA\Delta T \dots \dots \dots (8)$$

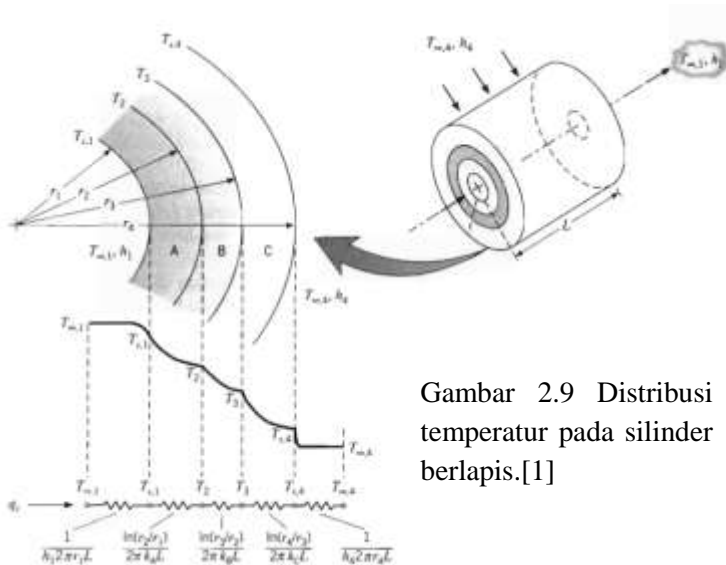
$$UA = \frac{1}{R_{\text{tot}}} \dots \dots \dots (9)$$

Sehingga koefisien perpindahan panas keseluruhan adalah:

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_{\infty 1}} + \frac{L}{k} + \frac{1}{h_{\infty 2}}} \dots \dots \dots (10)$$

2.2.1.2. Konduksi pada Dinding Silinder

Konduksi satu dimensi pada silinder, distribusi temperatur hanya kearah satu sumbu saja misalnya sumbu radial, sehingga perpindahan panas hanya terjadi kearah sumbu radial saja.



Gambar 2.9 Distribusi temperatur pada silinder berlapis.[1]

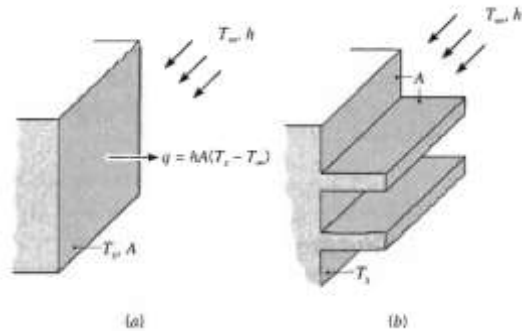
Perpindahan panas pada silinder berlapis dapat dicari dengan persamaan berikut.

$$q_x = \frac{T_{\infty 1} - T_{\infty 4}}{\frac{1}{2\pi r_1 L h_1} + \frac{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{2\pi k_A L} + \frac{\ln\left(\frac{r_3}{r_2}\right)}{2\pi k_B L} + \frac{\ln\left(\frac{r_4}{r_3}\right)}{2\pi k_C L} + \frac{1}{2\pi r_4 L h_4}} \dots \dots \dots (11)$$

2.2.1.2. Konduksi pada Sirip

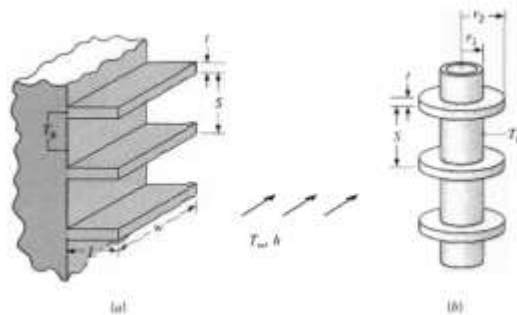
Untuk memperbesar laju perpindahan panas salah satu cara yang paling sering digunakan adalah memperluas permukaan perpindahan panas. Hal ini dapat ditempuh dengan cara menambahkan sirip pada permukaan perpindahan panas. Penambahan sirip ini memperoleh dua keuntungan sekaligus yaitu

dapat memperluas permukaan perpindahan panas tidak hanya permukaan konduksi tetapi juga permukaan konveksi.



Gambar 2.10 Penambahan sirip untuk memperbesar laju perpindahan panas.[1]

Sebagai engineer tentunya kita tertarik untuk mengetahui sejauh mana pengaturan fin dapat meningkatkan perpindahan panas dari permukaan ke cairan sekitar. Salah satu pengaturan fin dapat dilihat pada gambar 2.11



Gambar 2.11 Susunan sirip (a) sirip segi empat (b) sirip anular.[1]

Untuk mencari perpindahan panas yang melalui susunan fin seperti gambar 2.11, terlebih dahulu kita harus menganalisa

perpindahan panas melewati satu permukaan fin seperti ditunjukkan pada gambar 2.12

Perpindahan panas pada fin berpenampang konstan dapat dicari menggunakan rumus:

$$q_f = -kA_c \theta_b m \frac{\sin mL + \frac{h}{km} \cosh mL}{\cosh mL + \sinh mL} \dots \dots \dots (12)$$

Dimana $m = \sqrt{\frac{hP}{kA_c}}$, sehingga

$$q_f = \sqrt{hPkA_c} \theta_b \frac{\sin mL + \frac{h}{km} \cosh mL}{\cosh mL + \frac{h}{km} \sinh mL} \dots \dots \dots (13)$$

Kinerja dari sirip tersebut dapat dianalisis dengan efisiensi sirip η_f . Definisi dari efisiensi sirip adalah perbandingan antara perpindahan panas yang melalui sirip sesungguhnya dengan perpindahan panas jika seluruh sirip bertemperatur sama dengan temperatur akar sirip (base metal).

$$\eta_f = \frac{q_f}{q_{max}} = \frac{q_f}{hA_f \theta_b} \dots \dots \dots (14)$$

Untuk sirip berpenampang segi empat, segi tiga dan parabola:

$$q_{max} = hPL_c \theta_b \dots \dots \dots (15)$$

Untuk sirip anular:

$$q_{max} = 2\pi \left(\left(r_2 + \frac{t}{2} \right)^2 - r_1^2 \right) \theta_b \dots \dots \dots (16)$$

Dimana:

q_f : Perpindahan panas pada sirip sebenarnya (W)

q_{max} : Perpindahan panas jika seluruh sirip fin bertemperatur sama dengan akar sirip (W)

h : Koefisien konveksi disekitar sirip $\left(\frac{W}{m^2K} \right)$

A_f : Total luasan permukaan sirip (m^2)

θ_b : Perbedaan temperatur antara sirip dengan temperatur udara ($\theta_b = T_b - T_\infty$)

Berbeda dengan efisiensi sirip η_f , yang mencirikan kinerja sirip tunggal, efisiensi keseluruhan permukaan η_o

mencirikan sebuah susunan sirip dan permukaan dasar yang terpasang. Seperti terlihat pada gambar 2.11, dimana S adalah jarak antar sirip. Dalam kasus ini dapat dicari efisiensi keseluruhan:

$$\eta_o = \frac{q_t}{q_{max}} = \frac{q_t}{hA_t\theta_b} \dots \dots \dots (17)$$

Dimana q_t adalah total perpindahan panas dari permukaan A_t yang terkait dengan kedua sirip dan bagian dasar yang terbuka (biasanya disebut permukaan prime). Jika ada N sirip dalam susunan, masing-masing luasan permukaan A_f , dan daerah dari permukaan prime ditunjuk sebagai A_b , total luas permukaan adalah:

$$A_t = NA_f + A_b \dots \dots \dots (18)$$

Total perpindahan panas dari sirip dan permukaan prime (tidak ada fin) dapat dirumuskan sebagai

$$q_t = N\eta_f hA_f\theta_b + hA_b\theta_b \dots \dots \dots (19)$$

Dimana koefisien konveksi h diasumsikan sama untuk permukaan bersirip dan permukaan prime dan η_f adalah efisiensi untuk satu sirip. Maka

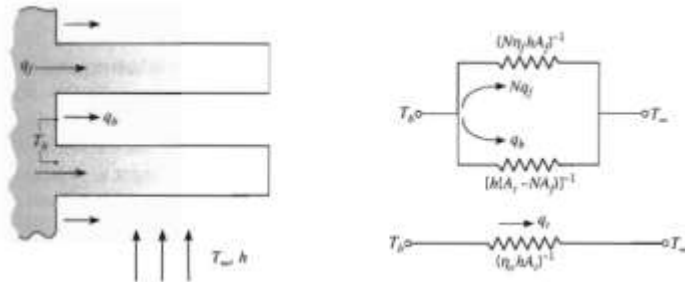
$$q_t = hA_t \left[1 - \frac{NA_f}{A_t} (1 - \eta_f) \right] \theta_b \dots \dots \dots (20)$$

Substitusikan persamaan (20) ke persamaan (17) sehingga didapat

$$\eta_o = 1 - \frac{NA_f}{A_t} (1 - \eta_f) \dots \dots \dots (21)$$

Tahanan thermal untuk susunan fin dapat menggunakan

$$R_{t,o} = \frac{\theta_b}{q_t} = \frac{1}{\eta_o hA_t} \dots \dots \dots (22)$$



Gambar 2.12 Susunan fin dan sirkuit thermal.[1]

2.2.2. Perpindahan Panas Konveksi

Perpindahan panas konveksi merupakan salah satu proses perpindahan panas yang cukup rumit karena dipengaruhi oleh banyak faktor. Koefisien konveksi yang dipengaruhi oleh orientasi arah aliran terhadap obyek, ukuran diameter (D), luas permukaan (A), bentuk obyek (plat datar, silinder, bola),konduktivitas panas lapisan fluida (k), massa jenis fluida (ρ), kekentalan fluida (μ) dan juga kapasitas panas jenis fluida pada tekanan konstan (C_p). Faktor-faktor tersebut dituangkan dalam bilangan Nusselt, bilangan Reynolds dan bilangan Prandtl yang merupakan bilangan tak berdimensi hasil riset mereka khususnya dalam menemukan persamaan empiris untuk mempredisi koefisien konveksi.

Bilangan Reynolds:

Untuk aliran eksternal diatas plat datar

$$Re_x = \frac{\rho V x}{\mu} \dots \dots \dots (23)$$

Untuk aliran tertutup pada saluran berpenampang bulat dan untuk aliran melintang pada silinder

$$Re_D = \frac{\rho V D}{\mu} \dots \dots \dots (24)$$

Bilangan Nusselt:

Untuk aliran eksternal diatas plat datar

$$N_{ux} = \frac{hx}{k} \dots \dots \dots (25)$$

Bilangan Rayleigh :

$$Ra = \frac{g\beta\Delta TL^3}{\nu\alpha} \dots \dots \dots (26)$$

Untuk aliran tertutup pada saluran berpenampang bulat dan untuk aliran melintang pada silinder

$$N_{uD} = \frac{hD}{k} \dots \dots \dots (27)$$

Bilangan Prandtl:

$$Pr = \frac{k}{\rho C_p} \dots \dots \dots (28)$$

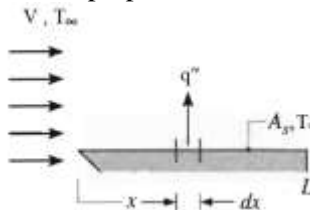
Bilangan Rayleigh :

$$Ra = \frac{g\beta\Delta TD^3}{\nu\alpha} \dots \dots \dots (29)$$

Pada gambar 2.14 ditunjukkan aliran udara berkecepatan v diatas plat datar seluas A . Jika $T_s \neq T_\infty$ akan terjadi perpindahan panas. Perpindahan panas yang terjadi dapat dicari menggunakan rumus:

$$q = hA_s(T_s - T_\infty) \dots \dots \dots (30)$$

Dimana h adalah koefisien perpindahan konveksi



Gambar 2.13 Konveksi pada plat datar.[1]

2.2.2.1. Konveksi pada Plat Datar

Berdasarkan kecepatannya aliran fluida dibedakan menjadi dua yaitu aliran laminar dan aliran turbulen. Secara

empiris dapat diidentifikasi dari bilangan Reynolds. Jika harga $Re_c \leq 5 \times 10^5$ disebut aliran laminar, dan jika $Re_c \geq 5 \times 10^5$ disebut aliran turbulen.

a) Aliran Laminer

Aliran pada plat datar ditandai dengan adanya pertumbuhan lapisan batas yaitu garis yang memisahkan daerah yang kecepatan bervariasi (karena dipengaruhi tegangan geser) dengan daerah yang kecepatan seragam (tidak dipengaruhi tegangan geser). Adanya variasi kecepatan mengindikasikan juga adanya variasi temperatur fluida jika temperatur permukaan plat tidak sama dengan temperatur fluida. Jika temperatur permukaan dianggap seragam (merata) maka bilangan Nusselt rata-rata:

$$\overline{Nu}_x = 0,664 Re_x^{1/2} Pr^{1/3} \rightarrow Pr \geq 0,6 \dots \dots \dots (31)$$

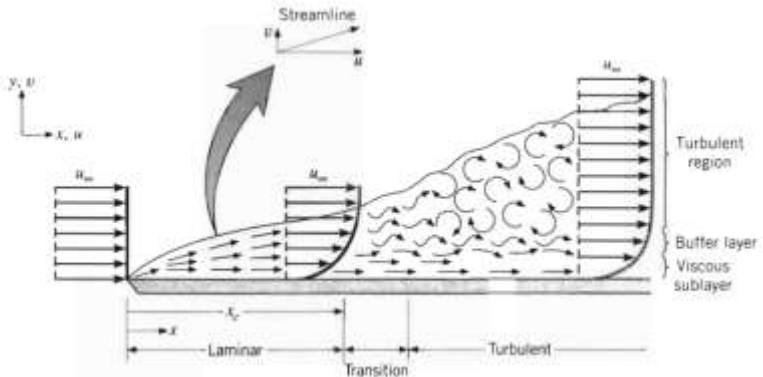
Semua sifat fluida dicari pada temperatur film T_f :

$$T_f = \frac{T_s + T_\infty}{2} \dots \dots \dots (32)$$

b) Aliran Turbulen

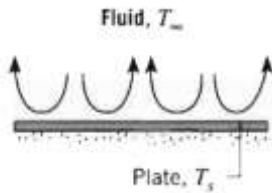
Untuk aliran turbulen maka bilangan Nusselt rata-rata:

$$\overline{Nu}_x = 0,0296 Re_x^{4/5} Pr^{1/3} \rightarrow 0,6 \leq Pr \leq 60 \dots \dots \dots (33)$$



Gambar 2.14 Batas kecepatan boundary layer pada plat datar.[1]

Jika dihadapi adalah kasus konveksi natural, maka

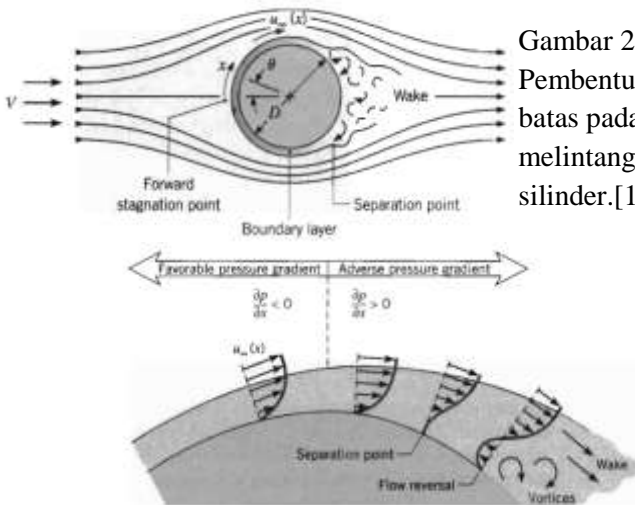


Gambar 2.15 Gaya bouyancy pada plat datar.[1]

$$\overline{Nu}_L = 0,27Ra_L^{1/4} \quad ; \quad 10^5 \leq Ra_L \leq 10^{10} \dots \dots \dots (34)$$

2.2.2.2. Konveksi pada Silinder

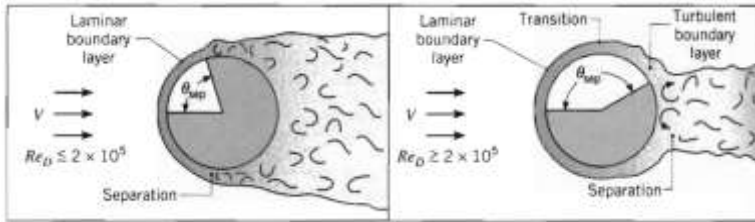
Fenomena lapisan batas pada aliran silinder ini sangat kompleks. Pembentukan lapisan batas mulai dari forward stagnation point, yaitu titik dimana kecepatannya diperlambat Ssampai nol seperti ditunjukkan gambar 2.17. Akibatnya tekanan pada titik tersebut sangat tinggi, makin menurun dengan bertambahnya x (koordinat stream line) dan θ (koordinata angular). Tekanan akan mencapai titik minimum dan semakin kearah belakang aliran lapisan batas makin tumbuh membesar dengan adanya *adverse pressure gradient* seperti gambar 2.18.



Gambar 2.16 Pembentukan lapisan batas pada aliran melintang silinder.[1]

Gambar 2.17 Profil kecepatan pada aliran melintang silinder.[1]

Kecepatan aliran yang biasa diidentifikasi dengan bilangan Reynolds juga berpengaruh terhadap lapisan batas terutama letak titik separasi. Makin besar nilai Reynolds titik separasi makin bergeser ke belakang aliran.



Gambar 2.18 Pengaruh turbulensi terhadap titik separasi.[1]

Mengingat begitu kompleksnya fenomena aliran melintang silinder maka korelasi antara bilangan Nu, Re dan Pr juga diperoleh melalui eksperimen untuk berbagai kondisi yang telah ditentukan. Untuk perhitungan teknik bisa menggunakan kondisi rata-rata, untuk maksud itu korelasi berikut sering digunakan.

$$\overline{Nu}_D = \frac{\bar{h}D}{k} = CR_e^m Pr^{\frac{1}{3}} \dots \dots \dots (35)$$

Persamaan (35) dapat digunakan untuk $Pr \geq 0,7$ dimana nilai C dan m dapat dilihat pada tabel 2.1. Semua properti fluida dievaluasi pada temperatur film.

Tabel 2.1 Konstanta persamaan (35) untuk aliran melintang silinder

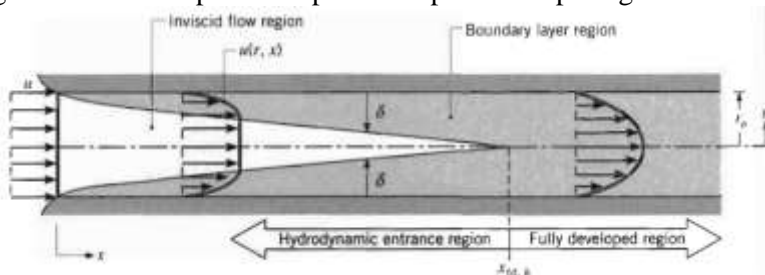
Re_D	C	m
0.4–4	0.989	0.330
4–40	0.911	0.385
40–4000	0.683	0.466
4000–40,000	0.193	0.618
40,000–400,000	0.027	0.805

Untuk kasus konveksi natural berlaku:

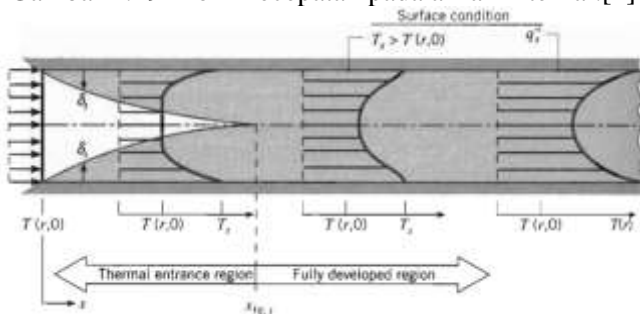
$$\overline{Nu}_D = \left\{ 0,60 + \frac{0,387 Ra_D^{\frac{1}{4}}}{\left[1 + \left(\frac{0,559}{Pr} \right)^{9/16} \right]^{8/27}} \right\}^2 ; Ra_D \leq 10^{12} \dots (36)$$

2.2.2.3. Konveksi Aliran Internal

Profil kecepatan pada aliran internal dapat dilihat pada gambar 2.20 dan profil temperatur dapat dilihat pada gambar 2.21



Gambar 2.19 Profil kecepatan pada aliran internal.[1]



Gambar 2.20 Profil temperatur pada aliran internal.[1]

a) Aliran Laminar

» Constant surface heat flux

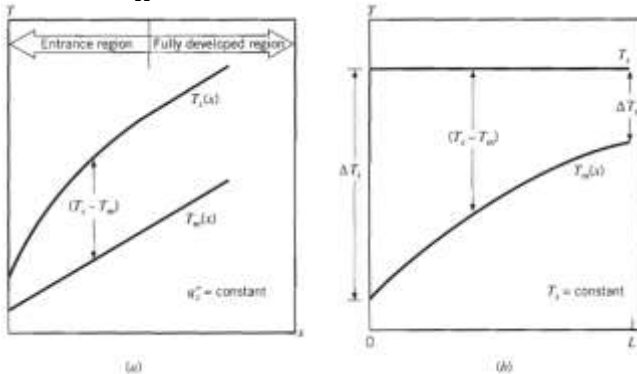
Jika kasus yang terjadi adalah perpindahan panas dimana ΔT pada seluruh permukaan perpindahan panas sama, maka q'' diseluruh permukaan konstan.

$$Nu_D = \frac{hD}{k} = 4,36 \rightarrow q'' = \text{konstan} \dots \dots \dots (37)$$

» Constant surface temperatur

Jika kasus yang terjadi adalah perpindahan panas dimana T_s pada seluruh permukaan perpindahan panas sama, maka q'' lokal diseluruh permukaan tidak sama.

$$Nu_D = \frac{hD}{k} = 3,66 \rightarrow T_s = \text{konstan} \dots \dots \dots (38)$$



Gambar 2.21 Variasi temperatur perpindahan panas. (a) Constant heat flux (b) Constant surface temperatur. [1]

Perpindahan panas pada temperatur permukaan konstan:

$$q_{conv} = \bar{h}A_s\Delta T_{lm} \dots \dots \dots (39)$$

Dimana

$$\Delta T_{lm} = \frac{\Delta T_o - \Delta T_i}{\ln\left(\frac{\Delta T_o}{\Delta T_i}\right)} \dots \dots \dots (40)$$

b) Aliran Turbulen

Korelasi konveksi untuk aliran turbulen diintoduser oleh Chilton-Colburn berikut:

$$Nu_D = 0,023Re_D^{\frac{4}{5}}Pr^{\frac{1}{3}} \dots \dots \dots (41)$$

2.2.3. Perpindahan Panas Radiasi

Radiasi termal adalah pancaran energi dari suatu material yang memiliki temperatur tertentu. Radiasi dapat dipancarkan baik

oleh material padat, cair maupun gas. Mekanisme perpindahan panas secara radiasi ini dihubungkan dengan adanya perubahan konfigurasi elektron dari atom atau molekul material yang bersangkutan. Lebih lanjut medan energi radiasi ini dipancarkan sebagai gelombang elektromagnetik. Jadi perpindahan panas radiasi tidak memerlukan media seperti perpindahan panas konduksi dan konveksi. Perpindahan panas radiasi akan lebih efektif jika terjadi pada ruang vacuum.

Energi yang dilepas persatuan luasan (W/m^2) biasa disebut dengan emissive power, E . Emissive power maksimum dari suatu permukaan dihitung berdasarkan hukum Stefan-Boltzmann yaitu:

$$E_b = \sigma T_s^4 \dots \dots \dots (42)$$

Dimana

E_b : Emissive power ($\frac{W}{m^2}$)

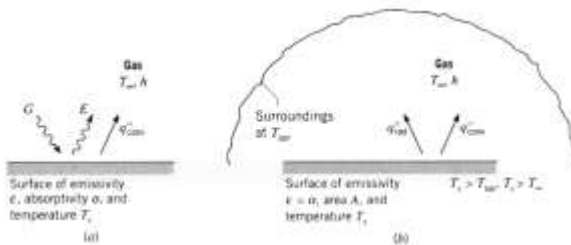
σ : Konstanta Stefan-Boltzmann ($5,67 \times 10^{-8} \frac{W}{m^2 K^4}$)

T_s : Temperatur Permukaan (K)

Fluks panas yang dipancarkan oleh permukaan sebenarnya lebih kecil dari yang dipancarkan black body pada suhu yang sama.

$$E = \epsilon \sigma T_s^4 \dots \dots \dots (43)$$

Dimana ϵ adalah sifat radiatif permukaan dan disebut emisivitas dengan nilai $0 \leq \epsilon \leq 1$. Properti ini memberikan ukuran seberapa efisien permukaan memancarkan energi relatif terhadap blackbody.



Gambar 2.22 Pertukaran radiasi: (a) pada permukaan dan (b) antara permukaan dan daerah sekitar.[1]

Setiap material yang bertemperatur memancarkan radiasi, jadi yang terpenting adalah menghitung laju pertukaran radiasi netto antara dua benda yang saling memancarkan radiasi. Kasus yang sering dijumpai adalah pertukaran netto antara benda kecil dengan lingkungannya yang melingkupi seluruh benda yang kecil tersebut. Artinya seluruh pancaran radiasi benda kecil diasumsikan diterima seluruhnya oleh lingkungan yang melingkupinya. Diantara benda dengan lingkungannya dipisahkan oleh gas yang tidak berpengaruh terhadap perpindahan panas radiasi. Persamaan laju pertukaran netto adalah:

$$q = \varepsilon A \sigma T_s^4 \dots \dots \dots (44)$$

dimana A : Luas permukaan pemancar (yang memancarkan) radiasi.

Persamaan diatas dapat ditulis menyerupai persamaan perpindahan panas konveksi yaitu:

$$q = h_r A (T_s - T_{sur}) \dots \dots \dots (45)$$

Dimana h_r disebut koefisien perpindahan panas radiasi.

$$h_r = \varepsilon \sigma (T_s + T_{sur}) (T_s^2 + T_{sur}^2) \dots \dots \dots (46)$$

2.3. Kolektor Surya Plat Datar

Radiasi yang menimpa permukaan tutup transparan kolektor surya plat datar, sebagian besar menembus penutup kolektor dan diserap plat datar yang bertindak sebagai pengumpul energi. Plat yang telah menyerap energi ini lalu bertindak sebagai sumber radiasi dengan memancarkan radiasi gelombang panjang yang tidak dapat menembus kaca. Dengan adanya radiasi yang terperangkap dalam rumah kaca, maka udara yang berada dalam ruang kaca mengalami pemanasan sehingga temperatur dalam ruang kaca meningkat dan lebih tinggi daripada temperatur sekeliling.

2.3.1 Penyerapan Radiasi Oleh Plat Datar

Radiasi yang menembus penutup semitransparan akan diteruskan sampai mengenai plat penyerap, dimana sebagian

diserap dan sebagian lainnya dipantulkan kembali ke penutup. Namun seluruh radiasi tidak hilang karena beberapa dipantulkan kembali ke plat penyerap..

Menurut J.A. Duffie & W. A. Beckman, Radiasi surya yang tiba pada suatu permukaan terdiri dari tiga bagian yaitu radiasi beam, difusi dan radiasi yang dipantulkan dari tanah. Berdasarkan pengertian dan produk transmitansi absorptansi, maka jumlah radiasi datang I_T pada permukaan, intensitas matahari diserap oleh kolektor surya datar sebesar:

$$S = 1,01(\tau\alpha)I_T \dots \dots \dots (47)$$

Dimana τ = transmisivitas

α = absorpsivitas

I_T = radiasi total matahari ($\frac{W}{m^2K}$)

Prinsip dasar untuk menghitung efisiensi kolektor ini adalah dengan membandingkan besar kenaikan temperatur fluida yang mengalir di dalam kolektor dengan intensitas cahaya matahari yang diterima kolektor. Sejumlah fluks energi radiasi yang datang pada suatu kolektor sebagian besar diserap oleh plat penyerap setelah sebelumnya mengalami pengurangan energi karena sifat optis penutup dan plat. Jumlah energi berguna dengan luasan kolektor dapat dinyatakan dalam persamaan keseimbangan energi sebagai berikut :

$$Q_{u\text{desain}} = A_c F_R [S - U_L (T_i - T_\infty)] \dots \dots \dots (48)$$

Dimana A_c = luas kolektor (m^2)

F_R = faktor pelepasan panas kolektor

U_L = koefisien kehilangan panas kolektor ($\frac{W}{m^2K}$)

T_i = temperatur air masuk (K)

T_∞ = temperatur udara didalam kolektor (K)

Untuk menghitung faktor pelepasan panas dapat menggunakan persamaan berikut:

$$m = \sqrt{\frac{U_L}{k\delta}} \dots \dots \dots (49)$$

$$F = \frac{\tanh\left(\frac{m(W-D)}{2}\right)}{\left(\frac{m(W-D)}{2}\right)} \dots \dots \dots (50)$$

$$F' = \frac{\frac{1}{U_L}}{W \left[\frac{1}{U_L(D+(W-D)F)} \right] + \frac{1}{\pi D h_{p-a}}} \dots \dots \dots (51)$$

Dimana: W = Jarak tiap pitch (m)

D = Diameter luar pipa (m)

h_{kp-a} = Koefisien konveksi antara pipa dan air

Sedangkan besarnya collector flow factor adalah :

$$F'' = \frac{\dot{m}C_p}{A_c U_L F'} \left[1 - \exp\left(-\frac{A_c U_L F'}{\dot{m}C_p}\right) \right] \dots \dots \dots (52)$$

Faktor pelepasan panas (F_R) adalah sebagai berikut :

$$F_R = F' \cdot F'' \dots \dots \dots (53)$$

Dimana:

k = Konduktifitas plat absorber $\left(\frac{W}{mK}\right)$

A_c = Luasan plat absorber (m^2)

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

δ = Tebal plat absorber (m)

\dot{m} = Laju aliran massa air (Kg/s)

C_p = Panas spesifik air (J/Kg.K)

Sedangkan energi berguna dari kolektor surya pemanas air secara aktualnya adalah sebagai berikut:

$$Q_u \text{ aktual} = \dot{m}c_p (T_o - T_i) \dots \dots \dots (54)$$

Dimana : T_o = Temperatur air keluar ($^{\circ}C$)

T_i = Temperatur air masuk ($^{\circ}C$)

Efisiensi dari kolektor dapat didefinisikan sebagai perbandingan antara panas yang berguna dari kolektor dengan intensitas dari radiasi surya.

$$\eta_{\text{desain}} = \frac{Q_{u \text{ desain}}}{A_c I_T} \dots \dots \dots (55)$$

$$\eta_{\text{aktual}} = \frac{Q_{\text{uaktual}}}{A_c I_T} \dots \dots \dots (56)$$

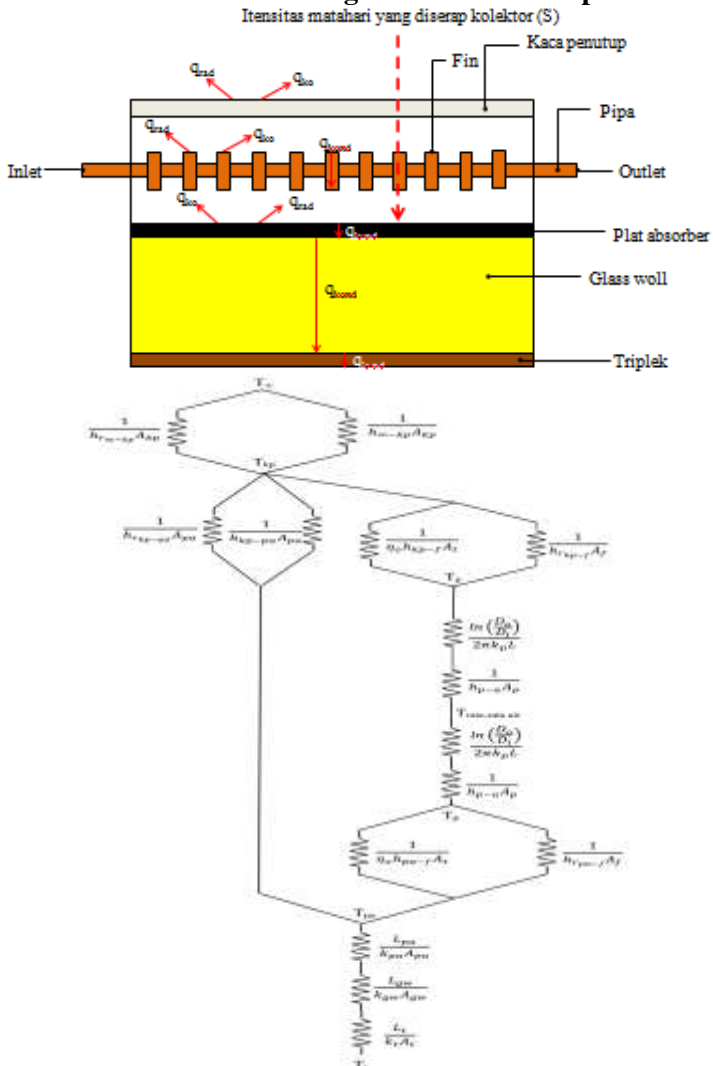
2.3.2 Studi Tentang Kolektor Surya Plat Datar

Secara umum, kolektor surya plat datar terdiri atas bagian-bagian utama, sebagai berikut:

- a. Plat penyerap, berfungsi untuk menyerap energi radiasi matahari yang diteruskan oleh penutup transparan. Bahan plat yang digunakan adalah tembaga, baja, aluminium, yaitu logam yang memiliki konduktivitas yang tinggi. Biasanya permukaan plat dicat hitam buram untuk meningkatkan kemampuan serapnya.
- b. Penutup transparan, terbuat dari bahan semi transparan yang dapat meneruskan sebagian besar energi radiasi. Fungsinya adalah untuk mengurangi kehilangan panas konveksi dan radiasi ke sekeliling. Bahan yang digunakan umumnya kaca atau bisa juga plastik.
- c. Insulator, yaitu alat penyekat terbuat dari bahan dengan sifat konduktivitas rendah. Sesuai dengan namanya, fungsinya sebagai penyekat untuk meminimalkan kehilangan panas pada bagian bawah maupun bagian samping kolektor.

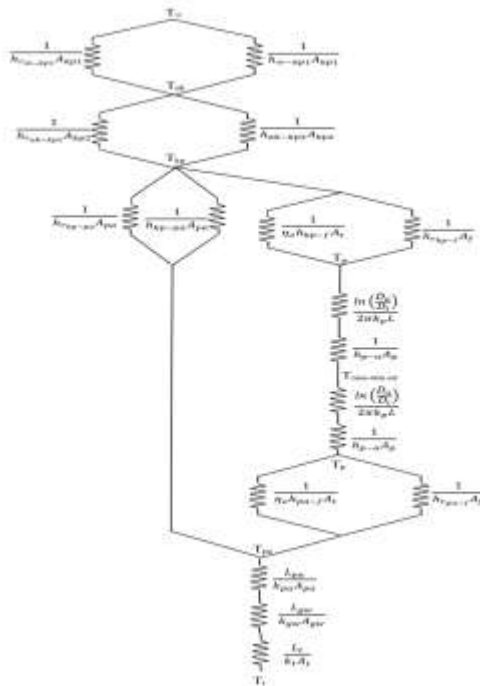
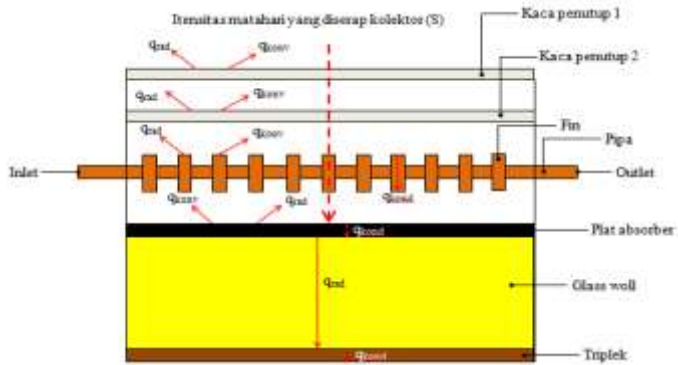
2.3.4. Skema Tahanan Thermal

2.3.4.1. Tahanan Thermal dengan 1 Kaca Penutup



Gambar 2.23 Skema perpindahan panas pada kolektor dengan 1 kaca penutup

2.3.4.2. Tahanan Thermal dengan 2 Kaca Penutup



Gambar 2.24. Skema perpindahan panas pada kolektor dengan 2 kaca penutup

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB III

METODE PENELITIAN

Sasaran dari penelitian ini untuk mendapatkan desain kolektor pemanas air yang praktis dan relatif murah untuk teknologi tepat guna serta dapat dikembangkan lebih lanjut. Oleh karena itu dipilih kolektor plat datar yang modelnya paling sederhana dari model kolektor lain. Untuk memperbesar perpindahan panas maka ditambahkan fin pada pipa yang terbuat dari tembaga. Penelitian ini diharapkan akan mendapatkan efisiensi yang lebih baik daripada tanpa menggunakan fin.

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.

3.1. Perencanaan Alat

3.1.1. Kolektor Surya Plat Datar

Kolektor surya berfungsi untuk mengumpulkan energi radiasi matahari dan mengubahnya menjadi energi panas yang selanjutnya akan digunakan untuk memanaskan air didalam pipa tembaga. Konstruksi dari kolektor surya plat datar yang digunakan terdiri dari:

- a. Plat kolektor, berfungsi untuk menyerap energi radiasi yang diteruskan oleh penutup transparan. Bahan plat yang digunakan adalah seng. Permukaan plat dicat hitam buram untuk meningkatkan kemampuan serapnya. Seng yang digunakan mempunyai tebal 2 mm.

- b. Penutup transparan, terbuat dari kaca yang dapat meneruskan sebagian besar energi radiasi matahari. Fungsinya adalah untuk menangkap udara panas dan mengurangi kehilangan panas konveksi dan radiasi ke luar. Kaca yang digunakan mempunyai tebal 5 mm.
- c. Insulator, yaitu alat penyekat terbuat dari bahan glass wool yang memiliki sifat konduktivitas panas yang rendah. Sesuai dengan namanya, fungsinya sebagai penyekat untuk meminimalkan kehilangan panas pada bagian bawah kolektor. Tebal glass wool yang digunakan adalah 50 mm.

3.1.2. Pipa Tembaga

Pipa ini berada didalam kolektor surya, berfungsi untuk mentransfer panas yang terperangkap di kolektor surya ke air yang disirkulasikan oleh pompa.



Gambar 3.1 Pipa tembaga yang terpasang didalam kolektor

3.1.3. Penampung Air

Penampung air digunakan untuk menampung air yang akan disirkulasikan melewati kolektor surya. Penampung air ini berkapasitas 80 liter. Pada bagian luar penampung ini diisolasi menggunakan glass wool. Hal ini bertujuan agar dapat menghambat perpindahan kalor dari air hangat ke lingkungan.



Gambar 3.2 Penampung air

3.1.4. Pompa air

Digunakan untuk mensirkulasikan air dalam sistem pemanas air tenaga matahari.



Gambar 3.3. Pompa air

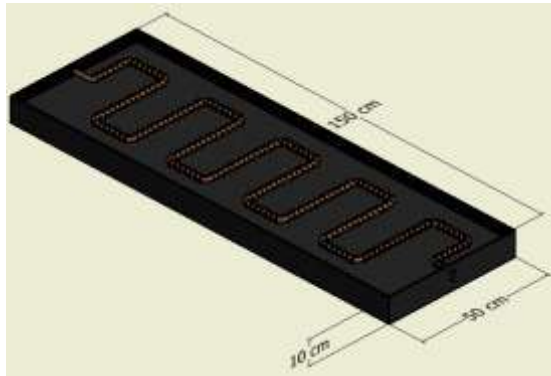
3.1.5. Stop Valve

Digunakan untuk mengatur debit air yang mengalir masuk kedalam kolektor surya.

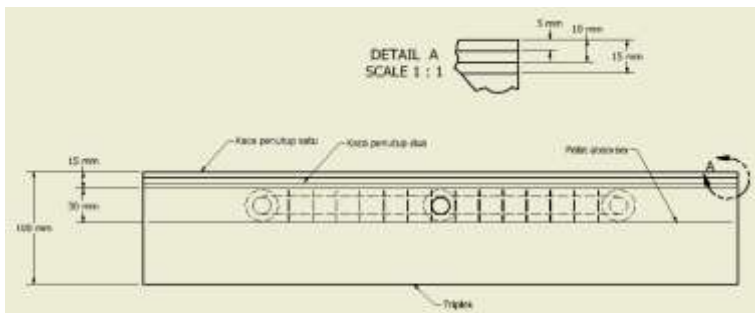


Gambar 3.4 Stop valve

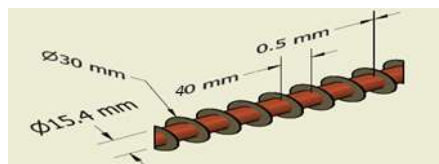
3.2. Desain Kolektor



Gambar 3.5 Bentuk kolektor surya



Gambar 3.6 Pemasangan kaca penutup pada kolektor surya



Gambar 3.7 Pemasangan *annular* fin pada pipa

3.3 Instalasi Percobaan

Peralatan yang digunakan kemudian dirangkai seperti pada gambar 3.8



Gambar 3.8 Instalasi percobaan

3.4 Peralatan Pengujian

1. Solari meter digunakan untuk mengukur intensitas radiasi matahari. Solari yang digunakan adalah merk Yokogawa tipe ML-020VM.



Gambar 3.9 Solari meter

2. Anemometer digunakan untuk mengukur kecepatan angin



Gambar 3.10 Anemometer

3. Termometer air raksa digunakan untuk mengukur temperatur ambient



Gambar 3.11 Termometer air raksa

4. Termocouple digunakan untuk mengukur temperatur penutup, temperatur didalam kolektor, temperatur absorber, temperatur pipa, temperatur air masuk dan air keluar pipa. Termometer yang digunakan adalah merk APPA 53II tipe K



Gambar 3.12 Termocouple

5. Termometer infra merah digunakan untuk mengukur temperatur triplek. Termometer yang digunakan adalah merk FLUKE 65

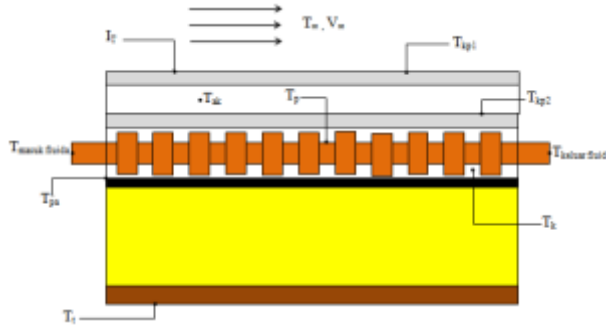


Gambar 3.13 Termometer infra merah

6. Gelas ukur
7. Stopwatch digunakan untuk mengukur interval waktu pengujian.

3.5 Parameter Pengukuran

Selama proses pengujian terdapat parameter-parameter yang diukur dengan posisi seperti gambar 3.14



Gambar 3.14 Posisi pengukuran

Table 3.1 Parameter-parameter yang ditetapkan, divariasikan, diukur dan dihitung

Parameter-parameter		
A. Ditetapkan		Keterangan
1	Sudut kemiringan kolektor	$\delta = 10^0$
2	Panjang kolektor	$L = 1500 \text{ mm}$
3	Lebar kolektor	500 mm
4	Tinggi Kolektor	100 mm
5	Diameter pipa	$D = 15,4 \text{ mm}$
6	Jarak antar pipa	$W = 300 \text{ mm}$
7	Tebal triplek	$L_t = 4 \text{ mm}$
8	Tebal <i>glass woll</i>	$L_{gw} = 50 \text{ mm}$
9	Tebal pelat <i>absorber</i>	$L_{pa} = 2 \text{ mm}$
10	<i>Pitch annular fin</i>	$S = 40 \text{ mm}$
11	Tebal <i>fin</i>	$f_i = 0.5 \text{ mm}$
12	Tinggi <i>fin</i>	15 mm
13	Jumlah <i>fin</i>	$N_f = 100$

14	Percepatan gravitasi	$g = 9.81 \text{ m/s}^2$
15	Konstanta <i>Stephen Boltzman</i>	$\sigma = 5,67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$
B. Divariasikan		
1	Debit aliran air	$Q_1 = 225 \text{ liter/jam}$ $Q_2 = 475 \text{ liter/jam}$ $Q_3 = 730 \text{ liter/jam}$ $Q_4 = 1000 \text{ liter/jam}$
2	Jumlah kaca penutup	1 penutup 2 penutup
C. Diukur		
1	Temperatur udara sekitar	T_∞
2	Kecepatan udara sekitar	V_∞
3	Temperatur permukaan kaca penutup pertama	T_{kp1}
4	Temperatur permukaan kaca penutup kedua	T_{kp2}
5	Temperatur permukaan pipa tembaga	T_p
6	Temperatur permukaan plat absorber	T_{pa}
7	Temperatur permukaan triplek	T_t
8	Temperatur air masuk kolektor	T_i
9	Intensitas radiasi matahari	I_T
10	Temperatur air keluar kolektor	T_o
11	Temperatur udara didalam kolektor	T_k
12	Temperatur udara pada celah antar kaca penutup	T_{ak}
D. Dihitung		
1	Koefisien radiasi pada kaca penutup 1	$hr_{kp1-\infty}$
2	Koefisien konveksi pada kaca penutup 1	$h_{kp1-\infty}$

3	Koefisien radiasi pada kaca penutup 2	$hr_{kp1-kp2}$
4	Koefisien konveksi pada kaca penutup 2	$h_{kp1-kp2}$
5	Koefisien radiasi kaca penutup dengan plat absorber	hr_{kp-pa}
6	Koefisien konveksi antara kaca penutup dengan plat absorber	h_{kp-pa}
7	Koefisien radiasi pada fin	hr_{kp-p}
8	Koefisien konveksi fin dengan udara didalam kolektor	h_{kp-p}
9	Radiasi matahari yang diserap pelat <i>absorber</i>	S
10	Koefisien perpindahan panas total	U_L
11	Energi yang berguna secara termodinamika	$Q_u \text{ aktual}$
12	Energi yang berguna secara perpindahan panas	$Q_u \text{ desain}$
13	Faktor pelepasan panas	F_R
14	Efisiensi kolektor secara perpindahan panas	η_{desain}
15	Efisiensi kolektor secara termodinamika	η_{aktual}
16	Efisiensi permukaan fin total	η_0
17	Koefisien konveksi fluida didalam pipa	h_{p-a}

3.6 Prosedur Pengambilan Data

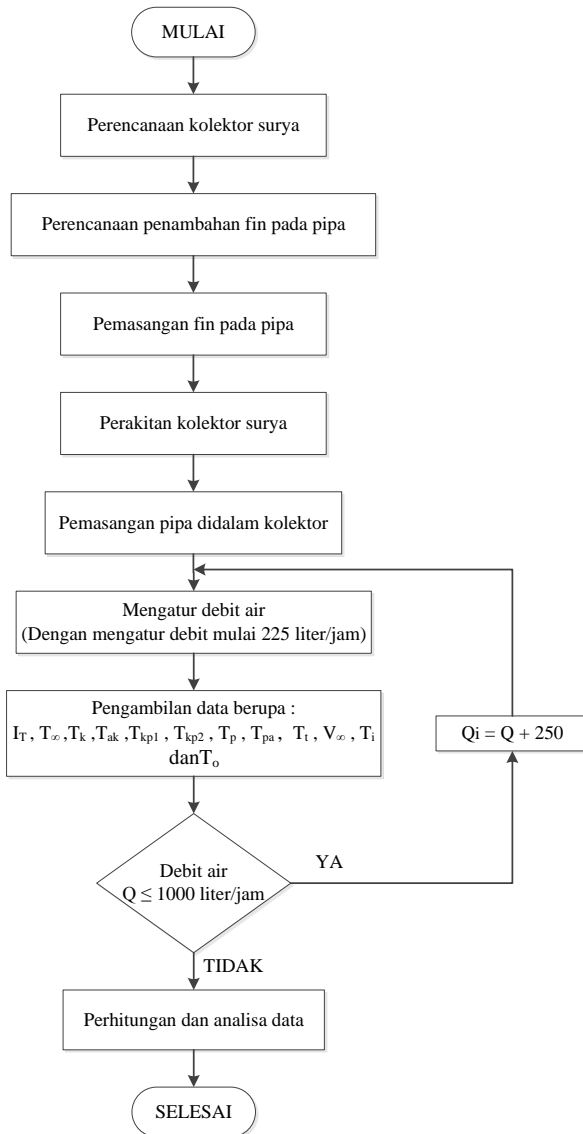
Pada pengujian ini akan dilakukan pengambilan data sebanyak 2 kali untuk masing-masing variasi jumlah kaca penutup dan variasi debit. Kaca penutup yang digunakan sebanyak satu dan dua buah. Pada masing-masing pengujian

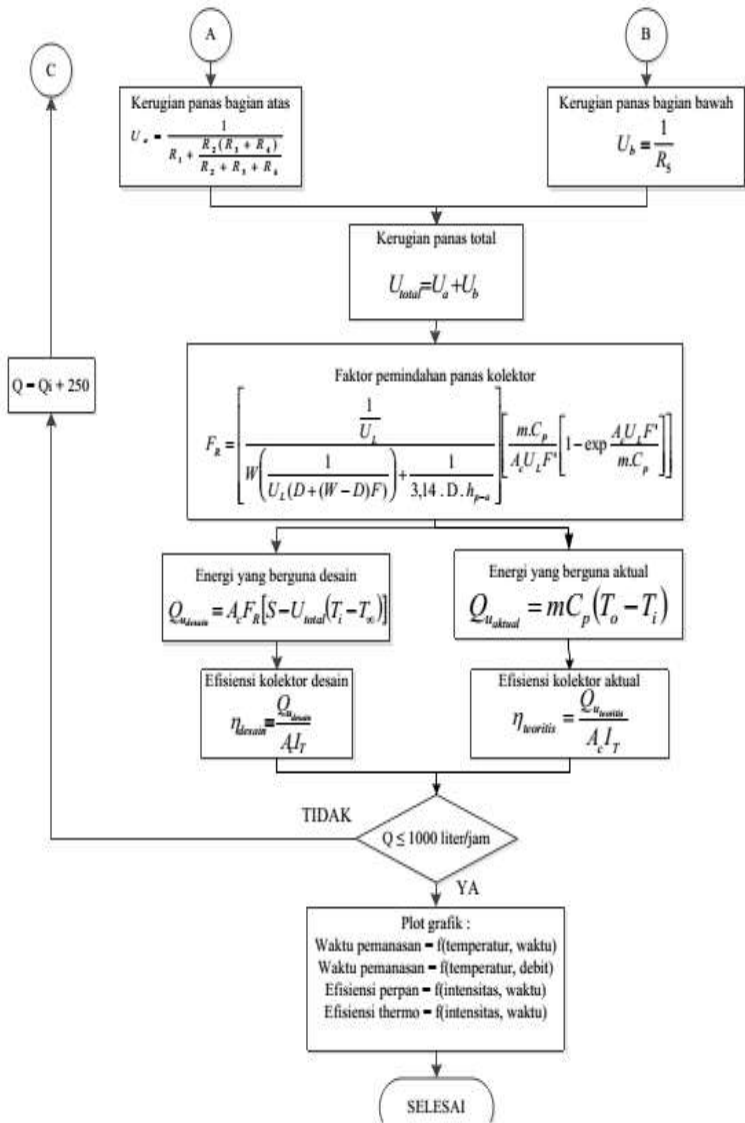
terdiri dari 3 tahap, yaitu tahap persiapan, tahap pengambilan data, tahap akhir. Adapun penjelasan masing-masing tahap akan dijelaskan sebagai berikut:

- 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. Memvariasikan debit air dengan mengatur bukaan valve mulai debit 250 liter/jam
 4. Ambil data meliputi I_T , V_∞ , T_∞ , T_{kp1} , T_{kp2} , T_p , T_{pa} , T_t , T_k , T_{ak} , T_i dan T_o
 5. Ulangi langkah 3 dan 4 dengan merubah debit sampai 1000 liter/jam dengan kenaikan debit 250 liter/jam
- c. Tahap akhir
 1. Matikan pompa
 2. Amankan peralatan ukur

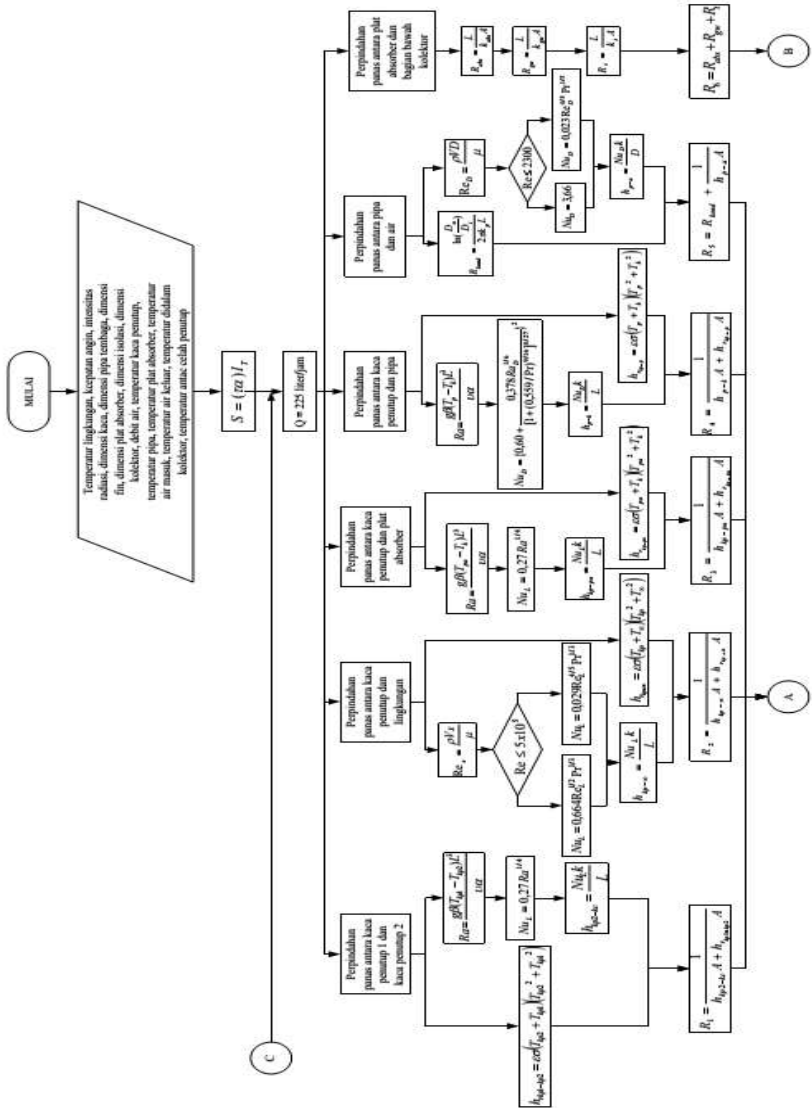
Catatan : Data dianggap valid jika intensitas matahari yang diterima kolektor minimal 450W/m^2

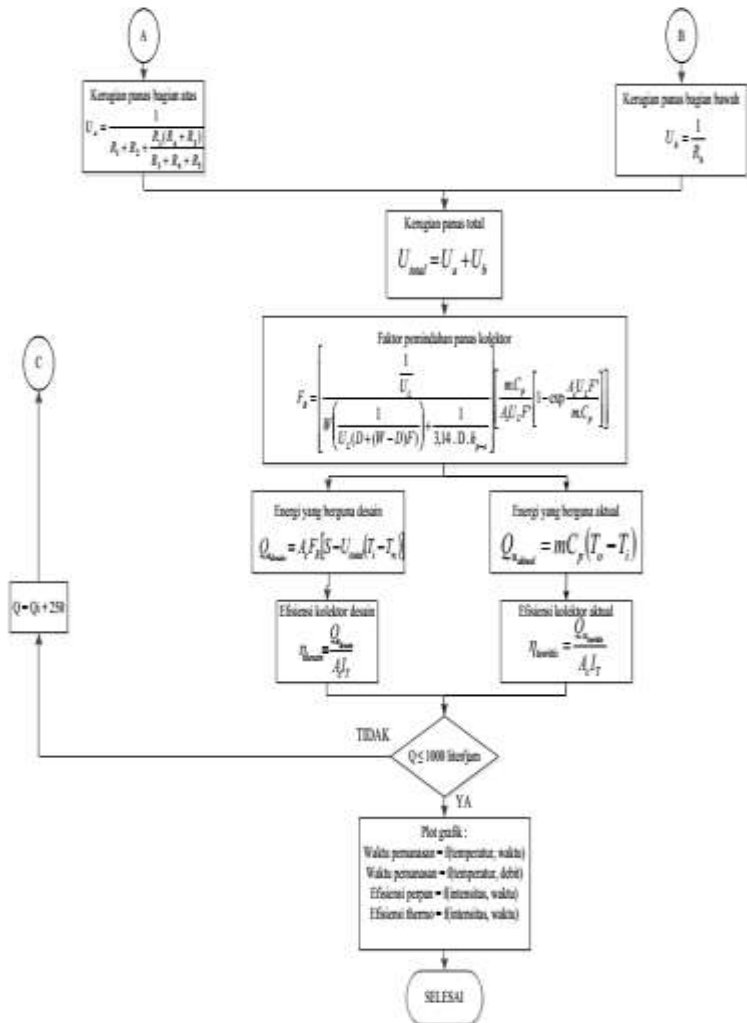
3.7 Diagram Alir Prosedur Penelitian





3.8.2. Diagram Alir Perhitungan dengan 2 kaca penutup





(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB IV

ANALISA PERHITUNGAN

4.1. Data Kolektor Surya

Pada penelitian ini menggunakan jenis kolektor surya plat datar dengan satu dan dua kaca penutup. Kemiringan dari kolektor adalah 10° . Adapun dimensi dan data pada kolektor surya adalah sebagai berikut:

Panjang = 1,5 m
Lebar = 0,5 m
Luas kolektor = $0,75 \text{ m}^2$

Glaswool insulasi

Ketebalan, $L_{gw} = 0,05 \text{ m}$
Konduktivitas thermal, $k_{gw} = 0,037 \text{ W/mK}$

Papan triplex insulasi

Ketebalan, $L_t = 0,004 \text{ m}$
Konduktivitas thermal, $k_t = 0,17 \text{ W/mK}$

4.2. Analisa Kolektor dengan Satu Kaca Penutup

Sebagai contoh perhitungan diambil data pada jam 09.00 dengan variasi debit 250 liter/jam

4.2.1 Analisa Intensitas Radiasi Matahari yang Diterima Plat Absorber

Intensitas radiasi matahari yang diterima oleh pelat absorber kolektor sangat dipengaruhi besarnya transmisivitas dan absorpsivitas cover dan pelat. Dengan data rancangan kolektor sebagai berikut:

1. Bahan cover adalah kaca dengan $\tau_c = 0,79$
2. Bahan absorber dari seng dengan $\alpha_{pa} = 0,95$

Intensitas matahari yang terukur pada solari meter adalah $405,23 \text{ W/m}^2$

$$S = 1,01(\tau_c \alpha_{pa}) I_T$$

$$S = 1,01(0,79 \cdot 0,95) 405,23 = 307,17 \frac{W}{m^2}$$

4.2.2. Analisa Perpindahan Panas Antara Kaca Penutup dengan Lingkungan

4.2.2.1. Perpindahan Panas Konveksi Antara Kaca Penutup dengan Lingkungan

Dari tabel *thermophysical properties of gases at atmospheric pressure* didapat data-data properties udara pada temperatur 319°K adalah $\rho_{\text{udara}} = 1,1314 \text{ kg/m}^3$; $\mu_{\text{udara}} = 1,8 \cdot 10^{-5} \text{ Ns/m}^2$; $Pr = 0,706$; $k_{\text{udara}} = 0,027 \text{ W/mK}$
Reynold number untuk kaca penutup dengan lingkungan:

$$Re_{\text{kp}-\infty} = \frac{\rho_{\text{udara}} \cdot V_{\text{udara}} \cdot L}{\mu_{\text{udara}}}$$

$$Re_{\text{kp}-\infty} = \frac{1,1314 \cdot 0,2 \cdot 1,5}{1,8 \cdot 10^{-5}} = 1,8 \cdot 10^4$$

Nusselt number untuk kaca penutup dengan lingkungan:

$$\overline{Nu}_{\text{kp}-\infty} = 0,664 Re_x^{\frac{1}{2}} Pr^{\frac{1}{3}}$$

$$\overline{Nu}_{\text{kp}-\infty} = 0,664 (1,8 \cdot 10^4)^{\frac{1}{2}} 0,706^{\frac{1}{3}} = 79,25$$

Sehingga dapat dicari koefisien perpindahan panas konveksi antara kaca dan udara

$$h_{\text{kp}-\infty} = \frac{Nu \cdot k_{\text{kp}}}{L}$$

$$h_{\text{kp}-\infty} = \frac{79,38 \cdot 0,027}{1,5} = 1,425 \frac{W}{m^2K}$$

4.2.2.2. Perpindahan panas Radiasi Antara Kaca Penutup dengan Lingkungan

$$h_{r,\text{kp}-\infty} = \varepsilon \sigma (T_{\text{kp}} + T_{\infty})(T_{\text{kp}}^2 + T_{\infty}^2)$$

$$h_{r,\text{kp}-\infty} = 0,9 \cdot 5,67 \cdot 10^{-8} (330,3 + 309)(330,3^2 + 309^2)$$

$$= 6,674 \frac{W}{m^2K}$$

Hambatan total pada kaca penutup dengan lingkungan:

$$R_{k_{p-\infty}} = \frac{1}{h_{k_{p-\infty}} + h_{r_{k_{p-\infty}}}} = \frac{1}{1,425 + 6,674} = 0,123 \frac{m^2K}{W}$$

4.2.3. Analisa Perpindahan Panas Antara Kaca Penutup dengan Plat Absorber

4.2.3.1. Analisa Konveksi Antara Kaca Penutup dengan Plat Absorber

Dari tabel *thermophysical properties of gases at atmospheric pressure* didapat data-data properties udara pada temperatur $345^\circ K$ adalah $\nu_{kolektor} = 2,03 \cdot 10^{-5} m^2/s$; $\alpha_{kolektor} = 2,91 \cdot 10^{-5} m^2/s$; $\beta = \frac{1}{T_f} = \frac{1}{345 K} = 0,0029/K$; $k_{kolektor} = 0,0296 W/mK$

Rayleigh number untuk kaca penutup dengan plat absorber:

$$Ra_{k_{p-pa}} = \frac{g\beta\Delta TL^3}{\nu_{kolektor} \alpha_{kolektor}}$$

$$Ra_{k_{p-pa}} = \frac{9,81 \cdot 0,0029 \cdot (85,9 - 57,3)(0,03)^3}{2,03 \cdot 10^{-5} \cdot 2,91 \cdot 10^{-5}} = 37071,8$$

Nusselt number untuk kaca penutup dengan plat absorber:

$$\overline{Nu}_{u_{k_{p-pa}}} = 0,27 \cdot 37071,8^{1/4} = 3,746$$

Sehingga dapat dicari koefisien perpindahan panas konveksi antara kaca dan plat absorber

$$h_{k_{p-pa}} = \frac{Nu \cdot k_{kolektor}}{L}$$

$$h_{k_{p-pa}} = \frac{3,746 \cdot 0,0296}{1,5} = 3,69 \frac{W}{m^2K}$$

4.2.3.2. Analisa Radiasi Antara Kaca Penutup dengan Plat Absorber

$$h_{r_{k_{p-pa}}} = \varepsilon\sigma(T_{pa} + T_k)(T_{pa}^2 + T_k^2)$$

$$h_{r_{k_{p-pa}}} = 0,02 \cdot 5,67 \cdot 10^{-8} (358,9 + 351,9)(358,9^2 + 351,9^2)$$

$$= 8,36 \frac{W}{m^2K}$$

Hambatan total pada kaca penutup dengan plat absorber:

$$R_{kp-pa} = \frac{1}{h_{kp-pa} + h_{r_{kp-pa}}} = \frac{1}{3,69 \cdot 8,36} = 0,082 \frac{m^2K}{W}$$

4.2.4. Analisa Perpindahan Panas Antara Kaca Penutup dengan Pipa

4.2.4.1. Analisa Konveksi Antara Kaca Penutup dengan Pipa

Dari tabel *thermophysical properties of gases at atmospheric pressure* didapat data-data properties udara pada temperatur $322,5^\circ K$ adalah $\nu_{kolektor} = 1,82 \cdot 10^{-5} m^2/s$; $\alpha_{kolektor} = 2,58 \cdot 10^{-5} m^2/s$; $\beta = \frac{1}{T_f} = \frac{1}{322,5 K} = 0,0031/K$; $Pr = 0,704$; $k_{kolektor} = 0,027 W/mK$

Rayleigh number untuk kaca penutup dengan pipa:

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

$$Ra_{kp-p} = \frac{9,81 \cdot 0,0031 \cdot (78,9 - 41,7)(0,0154)^3}{1,82 \cdot 10^{-5} \cdot 2,58 \cdot 10^{-5}} = 393,68$$

Nusselt number untuk kaca penutup dengan pipa:

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

$$= \left\{ 0,60 + \frac{0,387 \cdot 393,68^{\frac{1}{6}}}{\left[1 + \left(\frac{0,559}{0,704} \right)^{9/16} \right]^{8/27}} \right\}^2 = 2,158$$

Koefisien konveksi antara kaca penutup dengan pipa:

$$h_{kp-p} = \frac{Nu \cdot k_{kolektor}}{D} = \frac{2,158 \cdot 0,027}{0,0154} = 3,92 \frac{W}{m^2K}$$

4.2.4.2. Analisa Perpindahan Panas yang Melewati Fin

Efisiensi untuk satu fin:

$$\eta_f = \frac{q_f}{q_{\max}} = \frac{q_f}{hA_f\theta_b}$$

Dimana

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

$$= \sqrt{3,92 \cdot 0,09 \cdot 53 \cdot 2,65 \cdot 37,2} \frac{\sin 15,52 \cdot 0,015 + \frac{3,92}{53 \cdot 15,52} \cosh 15,52 \cdot 0,015}{\cosh 15,52 \cdot 0,015 + \frac{3,92}{km} \sinh 15,52 \cdot 0,015}$$

$$= 0,0026 \text{ W}$$

Sehingga

$$\eta_f = \frac{0,0026}{3,92 \cdot 0,00053 \cdot 37,2} = 0,016$$

Efisiensi total dari fin:

$$\eta_o = 1 - \frac{NA_f}{A_t} (1 - \eta_f) = 1 - \frac{100 \cdot 0,00053}{0,43984} (1 - 0,016)$$

$$= 0,881$$

Dimana

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

$$= 2 \cdot 3,14 \left[\left(0,0225 + \frac{0,0005}{2} \right)^2 - 0,75^2 \right]$$

$$= 0,00053 \text{ m}^2$$

$$A_t = NA_f + (2\pi D_o L) = 100 \cdot 0,00053 + (2\pi \cdot 0,0154 \cdot 4)$$

$$= 0,43984 \text{ m}^2$$

Maka

$$\eta_o = 1 - \frac{100 \cdot 0,00053}{0,43984} (1 - 0,016) = 0,881$$

4.2.4.3. Analisa Radiasi Kaca Penutup dengan Pipa

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

$$h_{r_{kp-p}} = 0,9 \cdot 5,67 \cdot 10^{-8} (314,7 + 351,9)(314,7^2 + 351,9^2)$$

$$= 7,231 \frac{W}{m^2 K}$$

Hambatan total antara kaca penutup dengan pipa:

$$R_{kp-p} = 2 \frac{1}{\eta_o h_{kp-p} + h_{r_{kp-p}}} = \frac{1}{0,881 \cdot 3,92 + 7,231}$$

$$= 0,094 \frac{m^2 K}{W}$$

4.2.5. Analisa Perpindahan Panas Antara Pipa dengan Air

4.2.5.1 Analisa Konveksi Pipa Dengan Air

Dari tabel *properties of water* didapat data-data properties udara pada temperatur 308°K adalah $\rho_{air} = 994 \text{ kg/m}^3$; $\mu_{air} = 72,2 \cdot 10^{-5} \text{ Ns/m}^2$; $Pr = 4,852$; $k_{air} = 0,624 \text{ W/mK}$

Reynold number untuk pipa dengan air:

$$Re_{p-f} = \frac{\rho_{air} \cdot V_{air} \cdot D}{\mu_{air}}$$

$$Re_{p-f} = \frac{994,02 \cdot 0,354 \cdot 0,015}{72,2 \cdot 10^{-5}} = 7,32 \cdot 10^3$$

Nusselt number untuk pipa dengan air:

$$Nu_{p-f} = 0,023 Re_D^{\frac{4}{5}} Pr^{\frac{1}{3}}$$

$$Nu_{p-f} = 0,023 \cdot 7,32 \cdot 10^3^{\frac{4}{5}} \cdot 4,852^{\frac{1}{3}} = 48,06$$

Sehingga dapat dicari koefisien perpindahan panas konveksi antara pipa dan air

$$h_{p-f} = \frac{Nu \cdot k_{air}}{D}$$

$$h_{p-f} = \frac{48,06 \cdot 0,624}{0,015} = 2002,23 \frac{W}{m^2 K}$$

Hambatan total untuk pipa dengan air:

$$R_{p-f} = 2 \left(\frac{\ln \left(\frac{D_o}{D_i} \right)}{k_p} + \frac{1}{h_{p-f}} \right) = \frac{\ln \left(\frac{0,0154}{0,015} \right)}{42,79} + \frac{1}{2011,27}$$

$$= 0,002 \frac{m^2K}{W}$$

4.2.6. Koefisien Kehilangan Panas pada Bagian Atas

$$U_a = \frac{1}{R_{kp-\infty} + \frac{R_{kp-pa}(R_{kp-p} + R_{p-f})}{R_{kp-pa} + R_{kp-p} + R_{p-f}}}$$

$$U_a = \frac{1}{0,123 + \frac{0,08(0,094+0,002)}{0,08+0,094+0,002}} = 5,96 \frac{W}{m^2K}$$

4.2.7. Analisa Perpindahan Panas pada Bagian Bawah Kolektor

Pada bagian bawah kolektor terdiri dari plat absorber, *glass woll* dan triplek

$$R_b = \frac{L_{pa}}{K_{pa}} + \frac{L_{gw}}{K_{gw}} + \frac{L_t}{K_t}$$

$$R_b = \frac{2 \cdot 10^{-3}}{374,193} + \frac{50 \cdot 10^{-3}}{0,037} + \frac{4 \cdot 10^{-3}}{0,017} = 1,375 \frac{m^2K}{W}$$

Koefisien kehilangan panas pada bagian bawah

$$U_b = \frac{1}{R_b} = \frac{1}{1,375} = 0,72 \frac{W}{m^2K}$$

4.2.8. Koefisien Kehilangan Panas Total pada Kolektor

$$U_L = U_a + U_b = 5,96 + 0,72 = 6,68 \frac{W}{m^2K}$$

4.2.9. Analisa Energi Berguna pada Kolektor

Energi berguna desain kolektor:

$$Q_{u\text{desain}} = A_c F_R [S - U_L (T_i - T_\infty)]$$

Dimana

$$A_c = P \cdot L = 1.0,5 = 0,75 \text{ m}^2$$

Untuk menghitung faktor pelepasan panas dapat menggunakan persamaan berikut:

$$m = \sqrt{\frac{U_L}{k\delta}} = \sqrt{\frac{6,68}{374,193 \cdot 0,002}} = 2,99$$

$$F = \frac{\tanh\left(\frac{m(W-D)}{2}\right)}{\left(\frac{m(W-D)}{2}\right)} = \frac{\tanh\left(\frac{2,99(0,15-0,0154)}{2}\right)}{\left(\frac{2,99(0,15-0,0154)}{2}\right)} = 0,98$$

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

$$= \frac{\frac{1}{6,68}}{0,15\left[\frac{1}{6,68(0,0154+(0,15-0,0154)0,98)}\right] + \frac{1}{\pi \cdot 0,0154 \cdot 2002,23}} = 0,97$$

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

$$= \frac{0,062 \cdot 4178,6}{0,75 \cdot 6,68 \cdot 0,97} \left[1 - \exp\left(-\frac{0,75 \cdot 6,68 \cdot 0,97}{0,062 \cdot 4178,6}\right) \right] = 0,96$$

Sehingga $FR = F' \cdot F'' = 0,97 \cdot 0,96 = 0,93$

$$Q_{u \text{ desain}} = 0,75 \cdot 0,93 [307,16 - 6,68(34,5 - 36)] = 229,52 \text{ W}$$

Energi berguna aktual kolektor:

$$Q_{u \text{ aktual}} = \dot{m}c_p (T_o - T_i) = 0,062 \cdot 4178,6 (35,4 - 34,5) = 85,65 \text{ W}$$

Efisiensi Kolektor :

$$\eta_{\text{desain}} = \frac{Q_{u \text{ desain}}}{A_c I_T} = \frac{229,52}{0,75 \cdot 405,22} 100\% = 70,28\%$$

Dan

$$\eta_{\text{aktual}} = \frac{Q_{u \text{ aktual}}}{A_c I_T} = \frac{85,65}{0,75 \cdot 405,22} 100\% = 15,37\%$$

4.3. Analisa Kolektor dengan Dua Kaca Penutup

Sebagai contoh perhitungan diambil data pada jam 09.00 dengan variasi debit 250liter/jam

4.3.1 Analisa Intensitas Radiasi Matahari yang Diterima Plat Absorber

Intensitas radiasi matahari yang diterima oleh pelat absorber kolektor sangat dipengaruhi besarnya transmisivitas dan absorpsivitas cover dan pelat. Dengan data rancangan kolektor sebagai berikut:

1. Bahan cover adalah kaca dengan $\tau_c = 0,79$
2. Bahan absorber dari seng dengan $\alpha_{pa} = 0,95$

Intensitas matahari yang terukur pada solari meter adalah $705,88\text{W/m}^2$

$$S = 1,01(\tau_c^2 \alpha_{pa}) I_T$$

$$S = 1,01(0,79^2 \cdot 0,95) 705,88 = 422,69 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$$

4.3.2. Analisa Perpindahan Panas Antara Kaca Penutup 1 dengan Lingkungan

4.3.2.1. Perpindahan Panas Konveksi Antara Kaca Penutup 1 dengan Lingkungan

Dari tabel *thermophysical properties of gases at atmospheric pressure* didapat data-data properties udara pada temperatur 313°K adalah $\rho_{\text{udara}} = 1,1281 \text{ kg/m}^3$; $\mu_{\text{udara}} = 1,89 \cdot 10^{-5} \text{ Ns/m}^2$; $\text{Pr} = 0,706$; $k_{\text{udara}} = 0,027 \text{ W/mK}$
 Reynold number untuk kaca penutup dengan lingkungan:

$$\text{Re}_{\text{kp } 1-\infty} = \frac{\rho_{\text{udara}} \cdot V_{\text{udara}} \cdot L}{\mu_{\text{udara}}}$$

$$\text{Re}_{\text{kp } 1-\infty} = \frac{1,1281 \cdot 0,2 \cdot 1,5}{1,89 \cdot 10^{-5}} = 1,16 \cdot 10^5$$

Nusselt number untuk kaca penutup dengan lingkungan:

$$\overline{\text{Nu}}_{\text{kp } 1-\infty} = 0,664 \text{Re}_x^{\frac{1}{2}} \text{Pr}^{\frac{1}{3}}$$

$$\overline{\text{Nu}}_{\text{kp } 1-\infty} = 0,664(1,16 \cdot 10^5)^{\frac{1}{2}} 0,705^{\frac{1}{3}} = 201,5$$

Sehingga dapat dicari koefisien perpindahan panas konveksi antara kaca dan udara

$$h_{\text{kp}1-\infty} = \frac{\text{Nu} \cdot k_{\text{udara}}}{L}$$

$$h_{\text{kp}1-\infty} = \frac{201,48 \cdot 0,027}{1,5} = 3,63 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}}$$

4.3.2.2. Perpindahan panas Radiasi Antara Kaca Penutup dengan Lingkungan

$$h_{\text{r}_{\text{kp}1-\infty}} = \varepsilon \sigma (T_{\text{kp}1} + T_{\infty})(T_{\text{kp}1}^2 + T_{\infty}^2)$$

$$h_{\text{r}_{\text{kp}1-\infty}} = 0,9 \cdot 5,67 \cdot 10^{-8} (317,4 + 310)(317,4^2 + 310^2)$$

$$= 3,245 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}}$$

Hambatan total pada kaca penutup dengan lingkungan:

$$R_{\text{kp}-\infty} = \frac{1}{h_{\text{kp}1-\infty} + h_{\text{r}_{\text{kp}1-\infty}}} = \frac{1}{3,63 + 3,245} = 0,145 \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}}$$

4.3.3. Analisa Perpindahan Panas Antara Kaca Penutup 1 dengan Kaca Penutup 2

4.3.3.1. Analisa Konveksi Antara Kaca Penutup 1 dengan Kaca Penutup 2

Dari tabel *thermophysical properties of gases at atmospheric pressure* didapat data-data properties udara pada temperatur 336°K adalah $\nu_{\text{antar kaca}} = 1,94 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$; $\alpha_{\text{antar kaca}} = 2,75 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$; $\beta = \frac{1}{T_f} = \frac{1}{336 \text{ K}} = 0,0029/\text{K}$; $k_{\text{ak}} = 0,029 \text{ W/mK}$

Rayleigh number untuk kaca penutup dengan plat absorber:

$$\text{Ra}_{\text{kp}1-\text{kp}2} = \frac{g\beta\Delta T L^3}{\nu_{\text{antar kaca}} \alpha_{\text{antar kaca}}}$$

$$\text{Ra}_{\text{kp}1-\text{kp}2} = \frac{9,81 \cdot 0,0029 \cdot (82,2 - 44,4)(0,005)^3}{1,94 \cdot 10^{-5} \cdot 2,75 \cdot 10^{-5}} = 253,05$$

Nusselt number untuk kaca penutup dengan plat absorber:

$$\overline{\text{Nu}}_{\text{u}_{\text{kp}1-\text{kp}2}} = 0,27 \cdot 253,05^{1/4} = 1,076$$

Sehingga dapat dicari koefisien perpindahan panas konveksi antara kaca dan plat absorber

$$h_{\text{kp1-kp2}} = \frac{\text{Nu} \cdot k_{\text{ak}}}{L}$$

$$h_{\text{kp1-kp2}} = \frac{1,076 \cdot 0,029}{0,005} = 6,24 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}}$$

4.3.3.2. Analisa Radiasi Antara Kaca Penutup 1 dengan Kaca Penutup 2

$$h_{\text{r}_{\text{kp1-kp2}}} = \varepsilon \sigma (T_{\text{kp2}} + T_{\text{ak}})(T_{\text{kp2}}^2 + T_{\text{ak}}^2)$$

$$h_{\text{r}_{\text{kp1-kp2}}} = 0,9 \cdot 5,67 \cdot 10^{-8} (355,2 + 342,5)(355,2^2 + 342,5^2)$$

$$= 7,78 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}}$$

Hambatan total pada kaca penutup dengan plat absorber:

$$R_{\text{kp1-kp2}} = \frac{1}{h_{\text{kp1-kp2}} + h_{\text{r}_{\text{kp1-kp2}}}} = \frac{1}{6,24 + 7,78} = 0,071 \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}}$$

4.3.4. Analisa Perpindahan Panas Antara Kaca Penutup 2 dengan Plat Absorber

4.3.4.1. Analisa Konveksi Antara Kaca Penutup 2 dengan Plat Absorber

Dari tabel *thermophysical properties of gases at atmospheric pressure* didapat data-data properties udara pada temperatur 357°K adalah $v_{\text{kolektor}} = 2,17 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$; $\alpha_{\text{kolektor}} = 3,11 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$; $\beta = \frac{1}{T_f} = \frac{1}{357 \text{ K}} = 0,0028/\text{K}$; $k_{\text{kolektor}} = 0,03 \text{ W/mK}$

Rayleigh number untuk kaca penutup dengan plat absorber:

$$\text{Ra}_{\text{kp2-pa}} = \frac{g\beta\Delta TL^3}{v_{\text{kolektor}} \alpha_{\text{kolektor}}}$$

$$\text{Ra}_{\text{kp2-pa}} = \frac{9,81 \cdot 0,0028 \cdot (86,6 - 82,2)(0,005)^3}{2,17 \cdot 10^{-5} \cdot 3,11 \cdot 10^{-5}} = 4533,3$$

Nusselt number untuk kaca penutup 2 dengan plat absorber:

$$\overline{\text{Nu}}_{\text{kp2-pa}} = 0,27 \cdot 4533,3^{1/4} = 2,215$$

Sehingga dapat dicari koefisien perpindahan panas konveksi antara kaca 2 dan plat absorber

$$h_{kp2-pa} = \frac{Nu \cdot k_{kolektor}}{D}$$

$$h_{kp2-pa} = \frac{2,215 \cdot 0,03}{0,005} = 2,25 \frac{W}{m^2K}$$

4.3.4.2. Analisa Radiasi Antara Kaca Penutup 2 dengan Plat Absorber

$$h_{r_{kp2-pa}} = \varepsilon \sigma (T_{pa} + T_k)(T_{pa}^2 + T_k^2)$$

$$h_{r_{kp2-pa}} = 9,567 \cdot 10^{-8} (359,6 + 344,4)(359,6^2 + 344,4^2)$$

$$= 9,3071 \frac{W}{m^2K}$$

Hambatan total pada kaca penutup 2 dengan plat absorber:

$$R_{kp2-pa} = \frac{1}{h_{kp2-pa} + h_{r_{kp2-pa}}} = \frac{1}{2,25 + 9,3} = 0,086 \frac{m^2K}{W}$$

4.3.5. Analisa Perpindahan Panas Antara Kaca Penutup 2 dengan Pipa

4.3.5.1. Analisa Konveksi Antara Kaca Penutup 2 dengan Pipa

Dari tabel *thermophysical properties of gases at atmospheric pressure* didapat data-data properties udara pada temperatur 333°K adalah $\nu_{kolektor} = 1,91 \cdot 10^{-5}$ m/s ; $\alpha_{kolektor} = 2,7 \cdot 10^{-5}$ m²/s ; $\beta = \frac{1}{T_f} = \frac{1}{333 K} = 0,0038/K$; Pr = 0,702 ; $k_{kolektor} = 0,028$ W/mK

Rayleigh number untuk kaca penutup 2 dengan pipa:

$$Ra_{kp2-p} = \frac{g\beta\Delta TD^3}{\nu_{kolektor} \alpha_{kolektor}}$$

$$Ra_{kp2-p} = \frac{9,81 \cdot 0,0038 \cdot (355,2 - 312,6)(0,007)^3}{1,91 \cdot 10^{-5} \cdot 2,7 \cdot 10^{-5} \frac{m^2}{s}} = 1044,91$$

Nusselt number untuk kaca penutup 2 dengan pipa:

$$\overline{Nu}_{kp2-p} = \left\{ 0,60 + \frac{0,387 Ra_D^{\frac{1}{6}}}{\left[1 + \left(\frac{0,559}{Pr} \right)^{\frac{9}{16}} \right]^{\frac{8}{27}}} \right\}^2$$

$$Nu_{kp2-p} = \left\{ 0,60 + \frac{0,387 \cdot (1044,91)^{\frac{1}{6}}}{\left[1 + \left(\frac{0,559}{0,702} \right)^{\frac{9}{16}} \right]^{\frac{8}{27}}} \right\}^2 = 2,556$$

Koefisien konveksi antara kaca penutup dengan pipa:

$$h_{kp2-p} = \frac{Nu \cdot k_k}{L} = \frac{2,556 \cdot 0,028}{0,007} = 4,64 \frac{W}{m^2K}$$

4.3.5.2. Analisa Perpindahan Panas yang Melewati Fin

Efisiensi untuk satu fin:

$$\eta_f = \frac{q_f}{q_{max}} = \frac{q_f}{hA_f\theta_b}$$

Dimana

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

$$= \sqrt{4,64 \cdot 0,09 \cdot 53 \cdot 2,65 \cdot 37,2} \frac{\sin 15,52 \cdot 0,015 + \frac{4,64}{53 \cdot 15,52} \cosh 15,52 \cdot 0,015}{\cosh 15,52 \cdot 0,015 + \frac{4,64}{km} \sinh 15,52 \cdot 0,015}$$

$$= 0,00128 W$$

Sehingga

$$\eta_f = \frac{0,00128}{4,64 \cdot 0,00053 \cdot 37,2} = 0,017$$

Efisiensi total dari fin:

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

Dimana

$$\begin{aligned}
 A_f &= 2\pi \left[\left(r_2 + \frac{t}{2} \right)^2 - r_1^2 \right] \\
 &= 2 \cdot 3,14 \left[\left(0,0225 + \frac{0,0005}{2} \right)^2 - 0,75^2 \right] \\
 &= 0,00053 \text{ m}^2 \\
 A_t &= NA_f + (2\pi D_o L) = 100 \cdot 0,00053 + (2\pi \cdot 0,0154 \cdot 4) \\
 &= 0,43984 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

Maka

$$\eta_o = 1 - \frac{100 \cdot 0,00053}{0,43984} (1 - 0,016) = 0,881$$

4.3.5.3 Analisa Radiasi Kaca Penutup dengan Pipa

$$\begin{aligned}
 h_{r_{kp2-p}} &= \varepsilon \sigma (T_p + T_k) (T_p^2 + T_k^2) \\
 h_{r_{kp2-p}} &= 0,9 \cdot 5,67 \cdot 10^{-8} (312,6 + 344,4) (312,6^2 + 344,4^2) \\
 &= 7,63 \frac{W}{m^2 K}
 \end{aligned}$$

Hambatan total antara kaca penutup dengan pipa:

$$\begin{aligned}
 R_{kp2-p} &= \frac{1}{\eta_o h_{kp2-p} + h_{r_{kp2-p}}} = \frac{1}{0,881 \cdot 4,64 + 7,63} \\
 &= 0,17 \frac{m^2 K}{W}
 \end{aligned}$$

4.3.6. Analisa Perpindahan Panas Antara Pipa dengan Air

4.3.6.1 Analisa Konveksi Pipa Dengan Air

Dari tabel *properties of water* didapat data-data properties udara pada temperatur 307,4°K adalah $\rho_{air} = 994,24 \text{ kg/m}^3$; $\mu_{air} = 73 \cdot 10^{-5} \text{ Ns/m}^2$; $Pr = 4,921$; $k_{air} = 0,623 \text{ W/mK}$

Reynold number untuk pipa dengan air:

$$\begin{aligned}
 Re_{p-f} &= \frac{\rho_{air} \cdot V_{air} \cdot D}{\mu_{air}} \\
 Re_{p-f} &= \frac{994,24 \cdot 0,354 \cdot 0,015}{73 \cdot 10^{-5}} = 7,25 \cdot 10^3
 \end{aligned}$$

Nusselt number untuk pipa dengan air:

$$Nu_{p-f} = 0,023 Re_D^{\frac{4}{5}} Pr^{\frac{1}{3}}$$

$$Nu_{p-f} = 0,023 \cdot (7,25 \cdot 10^3)^{\frac{4}{5}} \cdot 4,857^{\frac{1}{3}} = 47,95$$

Sehingga dapat dicari koefisien perpindahan panas konveksi antara pipa dan air

$$h_{p-f} = \frac{Nu \cdot k_{air}}{D}$$

$$h_{p-f} = \frac{47,95 \cdot 0,623}{0,015} = 1992,66 \frac{W}{m^2K}$$

Hambatan total untuk pipa dengan air:

$$R_{p-f} = \frac{\ln\left(\frac{D_o}{D_i}\right)}{k_p} + \frac{1}{h_{p-f}} = \frac{\ln\left(\frac{0,0154}{0,015}\right)}{42,79} + \frac{1}{1992,66} = 0,27 \frac{m^2K}{W}$$

4.3.7. Koefisien Kehilangan Panas pada Bagian Atas

$$U_a = \frac{1}{R_{kp1-\infty} + R_{kp1-kp2} + \frac{R_{kp2-pa}(R_{kp2-p} + R_{p-f})}{R_{kp2-pa} + R_{kp2-p} + R_{p-f}}}$$

$$U_a = \frac{1}{0,145 + 0,07 + \frac{0,08(0,17+0,27)}{0,08+0,17+0,27}} = 3,46 \frac{W}{m^2K}$$

4.3.8. Analisa Perpindahan Panas pada Bagian Bawah Kolektor

Pada bagian bawah kolektor terdiri dari plat absorber, glass woll dan triplek

$$R_b = \frac{L_{pa}}{K_{pa}} + \frac{L_{gw}}{K_{gw}} + \frac{L_t}{K_t}$$

$$R_b = \frac{2 \cdot 10^{-3}}{374,12} + \frac{100 \cdot 10^{-3}}{0,037} + \frac{4 \cdot 10^{-3}}{0,017} = 2,72 \frac{m^2K}{W}$$

$$U_b = \frac{1}{R_b} = \frac{1}{2,72} = 0,367 \frac{W}{m^2K}$$

4.3.9. Koefisien Kehilangan Panas Total pada Kolektor

$$U_L = U_a + U_b = 3,46 + 0,367 = 3,827 \frac{W}{m^2K}$$

4.3.10. Analisa Energi Berguna pada Kolektor

$$Q_{u\text{desain}} = A_c F_R [S - U_L (T_i - T_\infty)]$$

Untuk menghitung faktor pelepasan panas dapat menggunakan persamaan berikut:

$$m = \sqrt{\frac{U_L}{k\delta}} = \sqrt{\frac{3,827}{374,193 \cdot 0,002}} = 2,61$$

$$F = \frac{\tanh\left(\frac{m(W-D)}{2}\right)}{\left(\frac{m(W-D)}{2}\right)} = \frac{\tanh\left(\frac{2,61(0,15-0,0154)}{2}\right)}{\left(\frac{2,61(0,15-0,0154)}{2}\right)} = 0,98$$

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

$$= \frac{\frac{1}{3,827}}{0,15 \left[\frac{1}{3,827(0,0154+(0,15-0,0154)0,98)} \right] + \frac{1}{\pi \cdot 0,0154 \cdot 1992,66}} = 0,98$$

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

$$= \frac{0,062 \cdot 4178,6}{0,75 \cdot 3,827 \cdot 0,98} \left[1 - \exp\left(-\frac{0,75 \cdot 3,827 \cdot 0,98}{0,062 \cdot 4178,6}\right) \right] = 0,99$$

Sehingga $FR = F' \cdot F'' = 0,98 \cdot 0,99 = 0,97$

Energi berguna desain kolektor:

$$Q_{u\text{desain}} = A_c F_R [S - U_L (T_i - T_\infty)]$$

Dimana

$$A_c = P \cdot L = 1,0,5 = 0,75 \text{ m}^2$$

$$Q_{u\text{desain}} = 0,75 \cdot 0,97 [422,69 - 3,827(33,9 - 37)] = 300,65 \text{ W}$$

Energi berguna aktual kolektor:

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

$$Q_{u \text{ aktual}} = 0,062.4178,59 (34,9 - 33,9) = 90,89 \text{ W}$$

Efisiensi Kolektor :

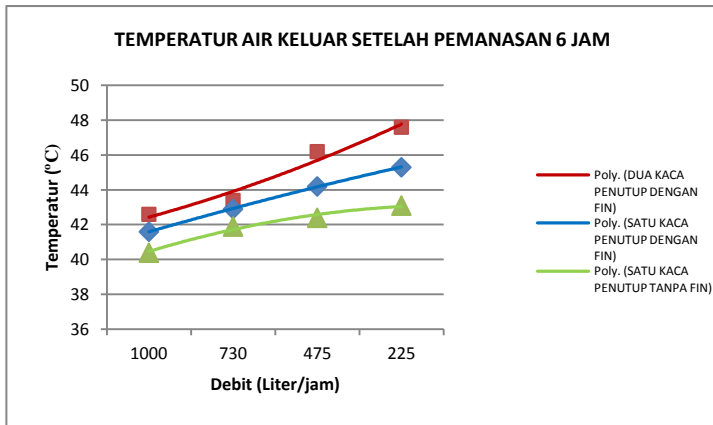
$$\eta_{\text{desain}} = \frac{Q_{u \text{ desain}}}{A_c I_T} = \frac{300,65}{0,75 \cdot 405,22} 100\% = 72,46\%$$

Dan

$$\eta_{\text{aktual}} = \frac{Q_{u \text{ aktual}}}{A_c I_T} = \frac{90,89}{0,75 \cdot 405,22} 100\% = 16,89\%$$

4.4. Pembahasan Grafik

4.4.1 Grafik Efektifitas Penambahan Fin dengan Variasi Debit



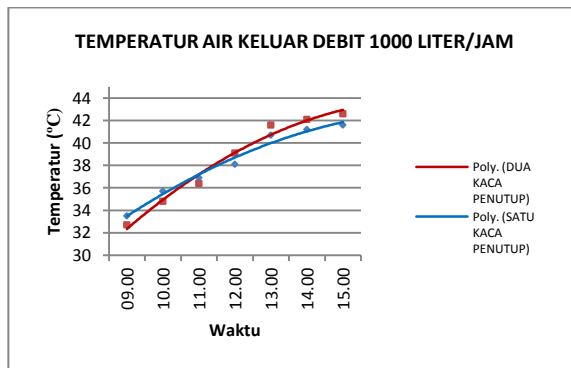
Gambar 4.1 Grafik temperatur air keluar setelah pemanasan 6 jam dengan variasi penambahan fin, variasi debit dan jumlah kaca penutup

Pada gambar 4.1 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

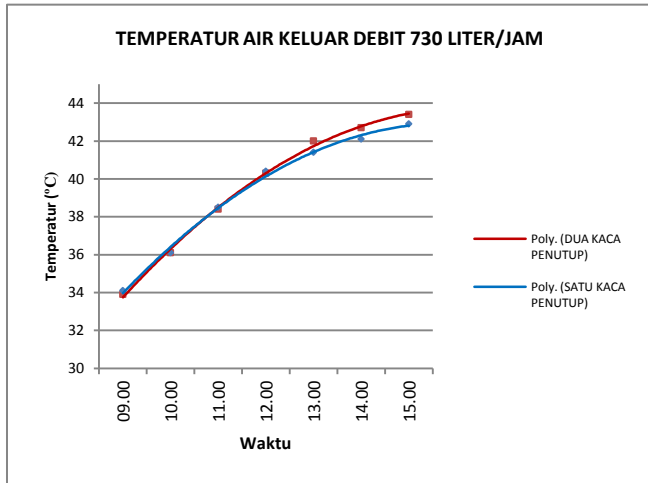
debit 225 liter/jam sedangkan pengaruh penambahan fin terhadap temperatur air keluar adalah penambahan fin memberikan temperatur air keluar lebih tinggi dari pada tanpa fin. Hal ini terlihat untuk kolektor dengan penambahan fin temperatur air keluar adalah $45,3^{\circ}\text{C}$ sedangkan kolektor tanpa 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 $42,6^{\circ}\text{C}$, $43,4^{\circ}\text{C}$, $46,2^{\circ}\text{C}$ dan $47,6^{\circ}\text{C}$ sedangkan untuk satu kaca penutup didapat $41,6^{\circ}\text{C}$, $42,9^{\circ}\text{C}$, $43,9^{\circ}\text{C}$ dan $45,3^{\circ}\text{C}$

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

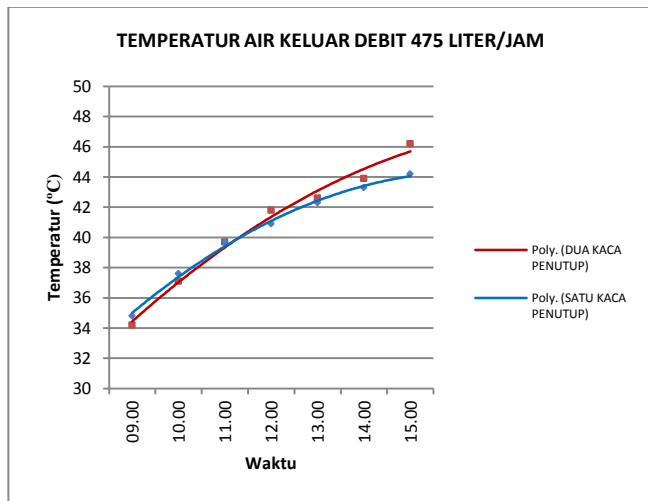
4.4.2 Grafik Temperatur Air Keluar Untuk Masing-Masing Variasi Debit Aliran Fluida



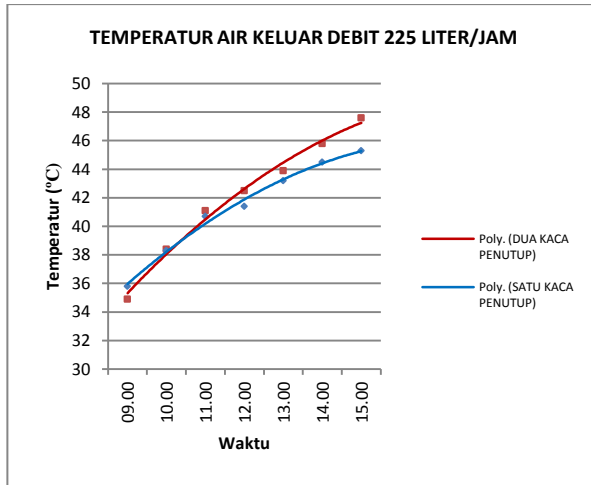
(a)



(b)



(c)



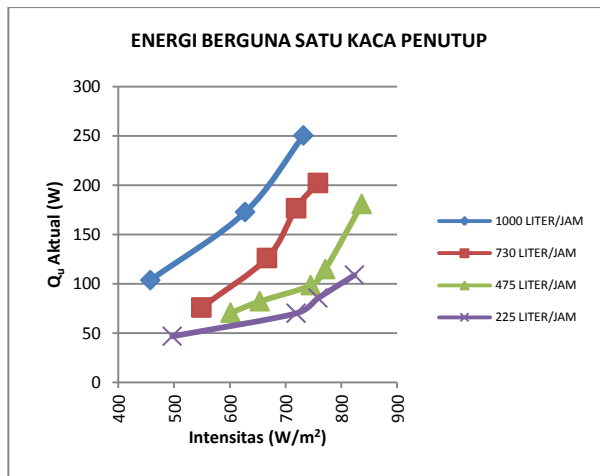
(d)

Gambar 4.2. Grafik temperatur air keluar untuk masing-masing debit. (a) debit 1000liter/jam, (b) debit 730 liter/jam, (c) debit 475liter/jam, (d) debit 225liter/jam

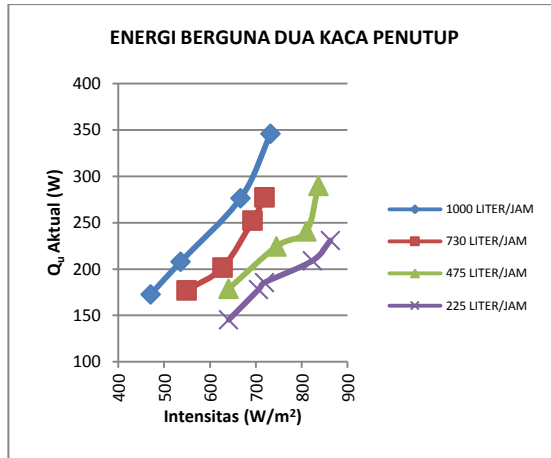
Pada gambar 4.2 kita dapat melihat bahwa ketika kolektor divariasikan dengan debit 1000 liter/jam, 730 liter/jam, 475 liter/jam dan 225 liter/jam. Serta divariasikan terhadap jumlah kaca penutup. Untuk variasi jumlah kaca penutup adalah satu dan dua kaca penutup. Maka kita dapat temperatur air tertinggi 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

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.

4.4.3 Grafik Energi Berguna Fungsi Intensitas



(a)



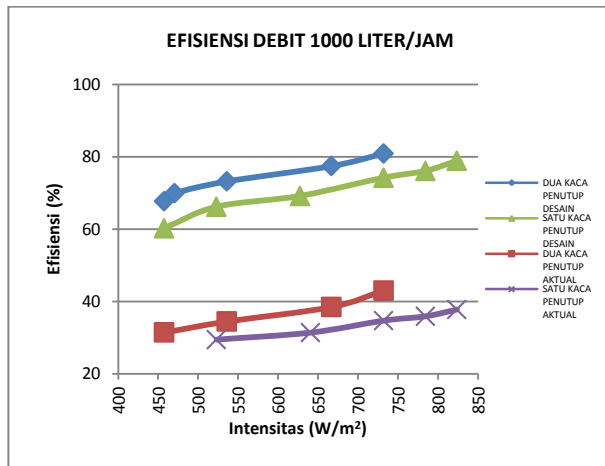
(b)

Gambar 4.3. Grafik Energi berguna untuk masing-masing debit aliran.(a) satu kaca penutup, (b) dua kaca penutup

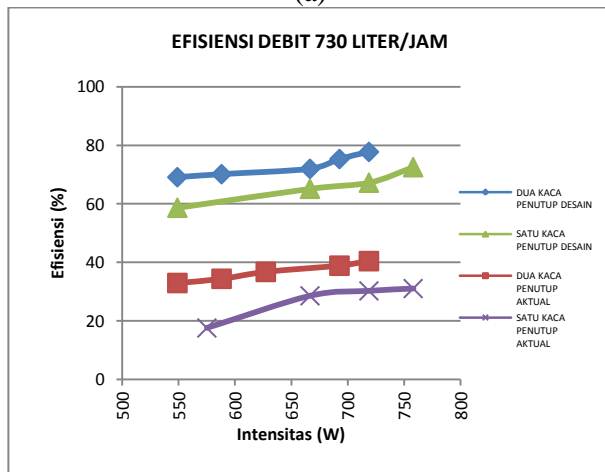
Pada gambar 4.3 kita dapat melihat hubungan antara energi yang diserap oleh air (Q_u) terhadap intensitas. Dari grafik diatas terlihat bahwa tren grafik Q_u berubah berdasarkan intensitas. Pada intensitas $700 W/m^2$ untuk satu kaca penutup energi yang diserap oleh air pada debit 1000 liter/jam adalah 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.

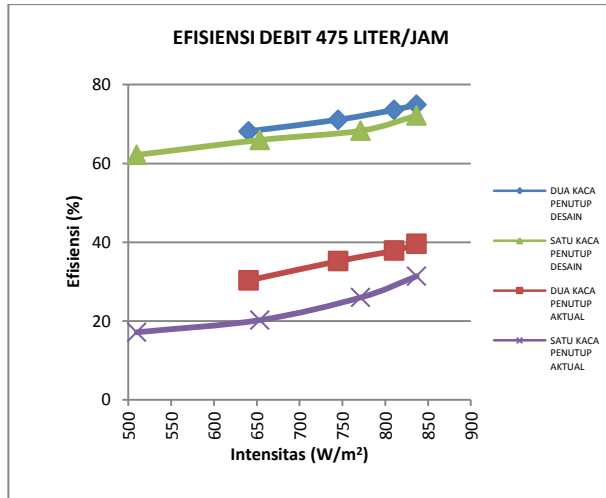
4.4.4 Grafik Efisiensi Aktual dengan Variasi Debit



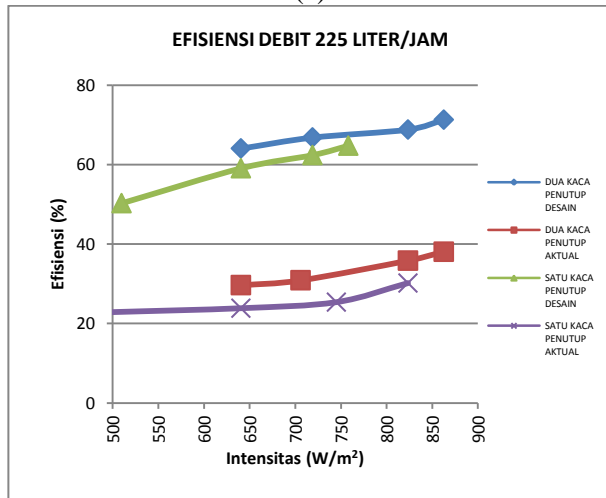
(a)



(b)



(c)



(d)

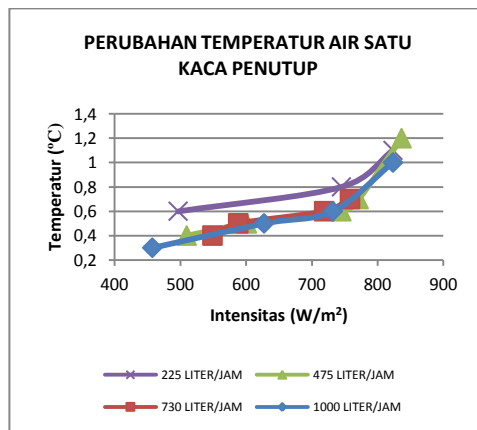
Gambar 4.4 Grafik efisiensi aktual dengan variasi debit. (a) debit 1000liter/jam, (b) debit 730liter/jam, (c) debit 475liter/jam, (d) debit 25liter/jam

Dari grafik efisiensi diatas 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.

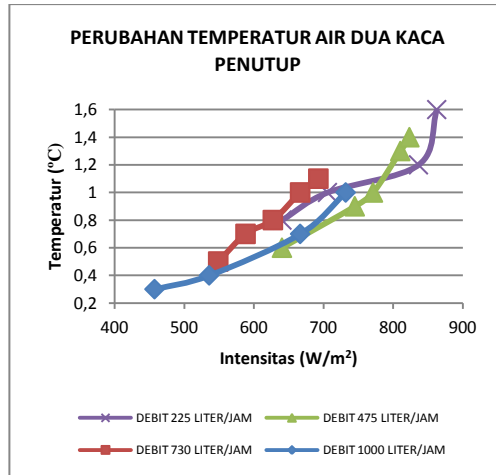
Pada grafik secara desain terlihat bahwa efisiensi tertinggi didapat dari debit aliran yang lebih besar. Hal ini disebabkan karena pada debit aliran yang lebih besar mempunyai nilai laju aliran massa yang lebih tinggi sehingga memperbesar nilai faktor pelepasan panas (F_R).

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.

Grafik 4.4.5 Perubahan Temperatur Fungsi Itensitas



(a)



(b)

Gambar 4.5 Grafik Perubahan Temperatur Fungsi Intensitas.(a) satu kaca penutup, (b) dua kaca penutup

Dari gambar 4.5 menunjukkan hubungan perubahan temperatur ($T_{out}-T_{in}$) terhadap intensitas. Dari grafik diatas dapat kita lihat bahwa tren grafik perubahan temperatur berubah berdasarkan meningkatnya intensitas matahari. Yang menarik kita lihat adalah grafik pada dua kaca penutup. Pada grafik (b) terlihat bahwa untuk intensitas $650 W/m^2$ didapat ΔT debit 1000 liter/jam adalah $0,7^{\circ}C$. untuk debit 730 liter/jam adalah $0,9^{\circ}C$. Untuk debit 475 liter/jam adalah $0,6^{\circ}C$ dan untuk debit 225 liter/jam adalah $0,8^{\circ}C$. Perubahan tersebut dikarenakan pengaruh dari lingkungan seperti angin, temperatur udara sekitar, energi yang tersimpan, dan lain-lain

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

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

1. Temperatur air keluar untuk debit 1000 liter/jam dengan pemanasan air mulai pukul 09.00-15.00 adalah $41,3^{\circ}\text{C}$. Untuk debit 730 liter/jam adalah $42,4^{\circ}\text{C}$. Untuk debit 475 liter/jam adalah $44,2^{\circ}\text{C}$. Untuk debit 225 liter/jam adalah $45,2^{\circ}\text{C}$.
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

5.2. Saran

1. Untuk memperbesar perpindahan panas ke pipa didalam kolektor bisa dilakukan dengan cara memberi warna hitam pada pipa.
2. Studi lebih lanjut dengan menggunakan sel surya agar kolektor tetap dapat beroperasi dimalam hari.

DATA SATU KACA PENUTUP

DEBIT 1000 LITER/JAM

waktu	IT (mV)		Tee (°C)		Vee (m/s)		Tki1 (°C)		Tpa (°C)		Tki (°C)		Tpe (°C)		Tti (°C)		Tto (°C)			
09.00	3,6	4	36	36	0,3	2,3	56,6	59,7	84,8	94,4	81,8	83,4	40,3	53,1	35,8	35,4	32,9	32,8	33,2	33,3
10.00	4,5	4,9	36,8	36	1,5	1	61,2	65,7	90,1	101,8	88,1	90,3	43,8	56,4	35,6	37,5	34,7	34,5	35,1	35
11.00	5,9	6	36	36	0,3	2	70,3	71,8	103,5	104,9	96,8	100	48,6	58	36,9	36,8	36,2	35,9	36,8	36,4
13.00	5,5	5,6	34	34	1,4	1,4	66,1	68,2	96	98,8	80	87,4	47,2	54,5	37,1	36	38,6	39,6	39,2	40,2
14.00	4,3	4,8	34	34	0,9	2	61,1	63,8	86,7	88,7	74,9	78,7	48,3	56	35,6	36,8	40,2	40,8	40,7	41,2
15.00	3,1	3,5	33	33	1,8	2,2	51,9	52,6	60,3	66,3	56,6	60,6	46,2	49,2	35,8	34,9	41	41,3	41,3	41,6

DEBIT 730 LITER/JAM

waktu	IT (mV)		Tee (°C)		Vee (m/s)		Tki1 (°C)		Tpa (°C)		Tki (°C)		Tpe (°C)		Tti (°C)		Tto (°C)			
09.00	4,4	4	35	38	1,6	0,7	61,9	58,2	88,8	89,9	87,4	81,2	49,1	46,3	37,8	37,2	33,5	32,9	33,8	33,1
10.00	5,1	4,9	36	39,5	0,7	0,2	65,5	63,7	97,9	93,4	94,6	89,9	52,9	49,7	36,7	39	35,7	34,2	36,1	35
11.00	5,5	5,2	36,5	40	0,9	0,2	70,4	70,9	102,1	103,2	97,3	98,7	55,2	55,7	39,2	39,5	37,9	37,9	38,5	38,3
12.00	5,8	5,8	37	40,4	0,2	0,1	73,7	76,4	104,6	104,7	98,9	101,4	57,1	57,8	38,4	39,8	39,4	39,8	40,1	40,4
13.00	5,1	5,5	36	38	0,8	1,4	68,6	69,6	96,3	98,6	80,2	90,1	55,9	56,2	38,1	39	40,4	40,9	41	41,4
14.00	4,5	5,1	36	37,5	1,3	1	62,3	61,8	80,7	87,3	71,8	76,8	53,2	54,5	37,9	38,5	41,3	41,9	41,8	42,1
15.00	3,6	4,2	35,5	35,5	1,4	1,3	58,8	53,2	73,9	70,6	66,4	65,3	51,8	52,1	37,8	37	42	42,4	42,4	42,9

DEBIT 475 LITER/JAM

waktu	IT (mV)		Tee (°C)		Vee (m/s)		Tki1 (°C)		Tpa (°C)		Tki (°C)		Tpe (°C)		Tti (°C)		Tto (°C)			
09.00	4,6	4,6	35	37	1	1	54,4	61,7	84,7	88,1	80,3	81,3	47,7	45,7	34,2	35,4	33,9	33,1	34,4	34,5
10.00	5,7	5,3	36	37	1,3	1,3	63,7	62,3	95,2	94,8	89,9	87,1	50,1	48,2	36,3	36,1	36,3	35,8	36,9	37,2
11.00	6	5,8	36,5	37,5	1,2	1	70,2	66,5	100,8	98,2	95,6	89,6	53,8	50,1	39,7	37,6	38,4	38,5	39,1	39,4
12.00	6,4	6,2	37	38	1,1	0,6	74,6	71,2	105,2	101,2	99,6	94,3	56,7	52,3	39,8	38,9	39,7	39,9	40,9	40,3
13.00	5,8	5,9	36	36	0,8	2,1	69,3	68,4	99,4	99,7	83,2	89,9	54,5	51,6	38,6	38,2	41,6	41,1	42,3	41,9
14.00	5	4,7	36	34	0,9	1,5	65,7	60,3	92,2	86,6	73,8	76,4	53,9	49,4	37,9	37,1	42,9	42,4	43,5	42,9
15.00	3,9	3,8	35,5	34	1,2	0,2	54,2	58,1	79,7	80,3	61,2	67,3	48,7	46,8	36,4	34,7	43,8	43,2	44,2	43,9

DEBIT 225 LITER/JAM

waktu	IT (mV)		Tee (°C)		Vee (m/s)		Tki1 (°C)		Tpa (°C)		Tki (°C)		Tpe (°C)		Tti (°C)		Tto (°C)			
09.00	3,1	3,8	36	36,5	0,1	0,1	57,3	59,6	85,9	85,4	78,9	79,9	41,7	41,2	37,5	37,6	34,7	34,7	35,3	35,8
10.00	5,5	4,6	37	37	0,8	0,9	64,4	62,3	94,8	92,1	87,8	87,4	49,1	48,7	36,5	37,9	37,7	36,9	38,3	37,8
11.00	5,8	5,5	36	37	1,9	0,4	69,2	70,7	97,3	100,6	94,9	95,2	52,1	53,6	37,9	38,4	39,5	39,3	40,3	40,7
12.00	6,3	5,9	36,5	39	1,1	0,3	75,5	71,9	107	101,3	96,8	99,7	55,3	53,9	38,2	38,7	40,6	41,5	41,7	42,1
13.00	5,6	5,7	34,5	39	0,9	0,7	68,2	63,2	103,3	98,2	84,5	90,3	51,5	51,2	37,7	37,2	42,1	42,9	43	43,2
14.00	4,4	4,9	33,8	37,5	2,2	1,1	61,1	56,8	94,2	83,5	74,4	72,7	50,5	50,2	37,4	36,8	43,5	43,6	44,1	44,5
15.00	3,7	3,9	32	35	3	0,3	58,3	50,2	85,5	61,9	69,1	58,6	50,1	49,6	32,5	35,1	44,6	44,9	45,2	45,3

PERPINDAHAN PANAS ANTARA KACA PENUTUP DENGAN LINGKUNGAN

DEBIT 1000 LITER/JAM

ρ udara (kg/m ³)	μ udara (Ns/m ²)	Re kp→	Pr kp→	Nu kp→	k udara (W/mK)	h kp→ (W/m ² K)	ε	α (W/m ² K ⁴)	hr kp→ (W/m ² K)								
1,131	1,131	1,89E-05	1,9E-05	2,70E+04	2,07E+05	0,706	0,706	97,07	268,77	0,027	0,027	1,745	4,8318	0,9	5,67E-08	6,652	6,7512
1,129	1,131	1,89E-05	1,9E-05	1,34E+05	8,99E+04	0,706	0,706	216,57	177,22	0,027	0,027	3,902	3,186	0,9	5,67E-08	6,825	6,9475
1,131	1,131	1,89E-05	1,9E-05	2,70E+04	1,80E+05	0,706	0,706	97,07	250,63	0,027	0,027	1,745	4,9057	0,9	5,67E-08	7,101	7,152
1,126	1,138	1,9E-05	1,9E-05	8,91E+03	2,73E+05	0,706	0,706	55,809	308,68	0,0271	0,0268	1,007	5,5187	0,9	5,67E-08	7,261	7,1776
1,138	1,138	1,88E-05	1,9E-05	1,27E+05	1,27E+05	0,706	0,706	210,87	210,87	0,0268	0,0268	3,77	3,77	0,9	5,67E-08	6,899	6,9083
1,138	1,138	1,88E-05	1,9E-05	8,18E+04	1,82E+05	0,706	0,706	169,07	252,03	0,0268	0,0268	3,023	4,506	0,9	5,67E-08	6,735	6,823
1,141	1,141	1,87E-05	1,9E-05	1,64E+05	2,01E+05	0,706	0,706	239,77	265,07	0,0267	0,0267	4,275	4,276	0,9	5,67E-08	6,413	6,439

DEBIT 730 LITER/JAM

ρ udara (kg/m ³)	μ udara (Ns/m ²)	Re kp→	Pr kp→	Nu kp→	k udara (W/mK)	h kp→ (W/m ² K)	ε	α (W/m ² K ⁴)	hr kp→ (W/m ² K)								
1,135	1,125	1,88E-05	1,9E-05	1,45E+05	6,22E+04	0,706	0,705	224,75	147,45	0,0269	0,0271	4,029	2,6653	0,9	5,67E-08	6,792	6,7645
1,131	1,12	1,89E-05	1,9E-05	6,29E+04	1,76E+04	0,706	0,705	148,34	78,487	0,027	0,0272	2,665	1,4245	0,9	5,67E-08	6,941	6,9909
1,13	1,118	1,89E-05	1,9E-05	8,07E+04	1,76E+04	0,706	0,705	167,86	78,378	0,027	0,0273	3,022	1,4245	0,9	5,67E-08	7,12	7,2486
1,128	1,117	1,89E-05	1,9E-05	1,79E+04	8,77E+03	0,706	0,705	79,019	55,36	0,027	0,0273	1,424	1,0072	0,9	5,67E-08	7,249	7,4511
1,131	1,125	1,89E-05	1,9E-05	7,19E+04	1,24E+05	0,706	0,705	158,49	308,53	0,027	0,0271	2,849	3,7694	0,9	5,67E-08	7,044	7,1408
1,131	1,126	1,89E-05	1,9E-05	1,17E+05	8,91E+04	0,706	0,706	202,05	176,48	0,027	0,0271	3,632	3,1858	0,9	5,67E-08	6,836	6,8659
1,133	1,133	1,89E-05	1,9E-05	1,26E+05	1,17E+05	0,706	0,706	209,99	202,35	0,0269	0,0269	3,77	3,6327	0,9	5,67E-08	6,707	6,5289

DEBIT 475 LITER/JAM

ρ udara (kg/m ³)	μ udara (Ns/m ²)	Re kp→	Pr kp→	Nu kp→	k udara (W/mK)	h kp→ (W/m ² K)	ε	α (W/m ² K ⁴)	hr kp→ (W/m ² K)								
1,135	1,128	1,88E-05	1,9E-05	9,04E+04	8,94E+04	0,706	0,706	177,72	176,73	0,0269	0,027	3,186	3,1859	0,9	5,67E-08	6,552	6,8471
1,131	1,128	1,89E-05	1,9E-05	1,17E+05	1,16E+05	0,706	0,706	202,07	201,5	0,027	0,027	3,633	3,6325	0,9	5,67E-08	6,882	6,8667
1,13	1,126	1,89E-05	1,9E-05	1,08E+05	8,91E+04	0,706	0,706	193,87	176,48	0,027	0,0271	3,49	3,1858	0,9	5,67E-08	7,114	7,021
1,128	1,125	1,89E-05	1,9E-05	9,83E+04	5,33E+04	0,706	0,705	185,36	136,51	0,027	0,0271	3,341	2,4676	0,9	5,67E-08	7,279	7,195
1,131	1,131	1,89E-05	1,9E-05	7,19E+04	1,89E+05	0,706	0,706	158,51	256,82	0,027	0,027	2,85	4,617	0,9	5,67E-08	7,008	7,0374
1,131	1,138	1,89E-05	1,9E-05	8,09E+04	1,36E+05	0,706	0,706	168,13	218,27	0,027	0,0268	3,023	3,9023	0,9	5,67E-08	6,948	6,7093
1,133	1,138	1,89E-05	1,9E-05	1,08E+05	1,82E+04	0,706	0,706	194,41	79,7	0,0269	0,0268	3,49	1,4249	0,9	5,67E-08	6,56	6,3837

DEBIT 225 LITER/JAM

ρ udara (kg/m ³)	μ udara (Ns/m ²)	Re kp→	Pr kp→	Nu kp→	k udara (W/mK)	h kp→ (W/m ² K)	ε	α (W/m ² K ⁴)	hr kp→ (W/m ² K)								
1,131	1,13	1,89E-05	1,9E-05	1,80E+04	8,96E+03	0,706	0,706	79,257	55,965	0,027	0,027	1,425	1,0075	0,9	5,67E-08	6,674	6,7634
1,128	1,128	1,89E-05	1,9E-05	7,15E+04	8,04E+04	0,706	0,706	158,07	167,66	0,027	0,027	2,85	3,0224	0,9	5,67E-08	6,936	6,8667
1,131	1,128	1,89E-05	1,9E-05	1,73E+05	3,58E+04	0,706	0,706	244,29	111,77	0,027	0,027	4,392	2,0149	0,9	5,67E-08	7,064	7,1463
1,13	1,121	1,89E-05	1,9E-05	9,86E+04	2,65E+04	0,706	0,705	185,62	96,261	0,027	0,0272	3,341	1,7448	0,9	5,67E-08	7,295	7,2507
1,136	1,121	1,88E-05	1,9E-05	8,15E+04	6,19E+04	0,706	0,705	168,83	147,04	0,0269	0,0272	3,023	2,6652	0,9	5,67E-08	6,984	6,9587
1,139	1,126	1,88E-05	1,9E-05	2,00E+05	9,81E+04	0,706	0,706	264,48	185,1	0,0268	0,0271	4,726	3,3413	0,9	5,67E-08	6,729	6,7041
1,145	1,135	1,87E-05	1,9E-05	2,76E+05	2,71E+04	0,706	0,706	310,4	97,341	0,0267	0,0269	5,519	1,7451	0,9	5,67E-08	6,584	6,4202

PERPINDAHAN PANAS ANTARA KACA PENUTUP DENGAN PIPA

DEBIT 1000 LITER/JAM

β (m ² /s ²)	β (1/K)	T Dim (°K)	α kolektor (m ² /h)	Pr	α kolektor (m ² /h)	Ra kp-p	Nu kp-p	k kolektor (W/m ² °K)	h kp-p (W/m ² °K)									
9,81	0,0031	0,00304	321,45	329,4	1,8E-05	1,9E-05	0,704	0,703	2,6E-05	2,7E-05	417,62	151,09	2,12	1,75	0,028	0,0285	3,846	3,2396
9,81	0,0031	0,00299	325,5	334,05	1,85E-05	1,9E-05	0,703	0,702	2,6E-05	2,8E-05	420,72	199,73	2,13	1,84	0,028	0,0288	3,893	3,4514
9,81	0,003	0,00296	332,45	337,9	1,92E-05	2E-05	0,702	0,702	2,7E-05	2,8E-05	476,32	281,42	2,18	1,97	0,029	0,0291	4,061	3,7179
9,81	0,003	0,00295	334,6	339,4	1,94E-05	2E-05	0,702	0,701	2,8E-05	2,8E-05	511,61	319,85	2,21	2,02	0,029	0,0292	4,142	3,8246
9,81	0,003	0,00299	329,65	334,35	1,89E-05	1,9E-05	0,703	0,702	2,7E-05	2,8E-05	431,17	293,04	2,14	1,98	0,028	0,0288	3,954	3,7131
9,81	0,0031	0,003	327,7	332,9	1,87E-05	1,9E-05	0,703	0,702	2,7E-05	2,7E-05	300,05	170,16	1,99	1,79	0,028	0,0287	3,667	3,3408
9,81	0,0031	0,00309	322,05	323,9	1,81E-05	1,8E-05	0,704	0,704	2,6E-05	2,6E-05	144,78	84,1	1,74	1,58	0,028	0,0281	3,154	2,877

DEBIT 730 LITER/JAM

β (m ² /s ²)	β (1/K)	T Dim (°K)	α kolektor (m ² /h)	Pr	α kolektor (m ² /h)	Ra kp-p	Nu kp-p	k kolektor (W/m ² °K)	h kp-p (W/m ² °K)									
9,81	0,003	0,00307	328,5	325,25	1,88E-05	1,8E-05	0,703	0,703	2,7E-05	2,6E-05	296,72	288,75	1,99	1,98	0,028	0,0282	3,667	3,6168
9,81	0,003	0,00303	332,2	329,7	1,91E-05	1,9E-05	0,702	0,703	2,7E-05	2,7E-05	277,52	319,16	1,96	2,02	0,029	0,0285	3,655	3,7298
9,81	0,003	0,00297	335,8	336,3	1,95E-05	2E-05	0,702	0,702	2,8E-05	2,8E-05	318,81	316,68	2,01	2,01	0,029	0,029	3,788	3,7875
9,81	0,003	0,00294	338,4	340,1	1,98E-05	2E-05	0,702	0,701	2,8E-05	2,8E-05	336,27	308,4	2,04	2,07	0,029	0,0293	3,852	3,9275
9,81	0,003	0,00298	335,25	335,9	1,94E-05	2E-05	0,702	0,702	2,8E-05	2,8E-05	268,36	280,68	1,95	1,97	0,029	0,029	3,66	3,6973
9,81	0,003	0,00302	330,75	331,15	1,9E-05	1,9E-05	0,703	0,703	2,7E-05	2,7E-05	204,47	163,12	1,85	1,78	0,029	0,0286	3,437	3,3002
9,81	0,003	0,00307	328,3	325,65	1,87E-05	1,8E-05	0,703	0,703	2,7E-05	2,6E-05	162,72	26,541	1,78	1,3	0,028	0,0282	3,275	2,3862

DEBIT 475 LITER/JAM

β (m ² /s ²)	β (1/K)	T Dim (°K)	α kolektor (m ² /h)	Pr	α kolektor (m ² /h)	Ra kp-p	Nu kp-p	k kolektor (W/m ² °K)	h kp-p (W/m ² °K)									
9,81	0,0031	0,00306	324,05	326,7	1,83E-05	1,9E-05	0,704	0,703	2,6E-05	2,6E-05	165,37	380,37	1,78	2,09	0,028	0,0283	3,248	3,8288
9,81	0,003	0,00305	329,9	328,25	1,89E-05	1,9E-05	0,703	0,703	2,7E-05	2,7E-05	309,19	327,99	2	2,03	0,029	0,0284	3,709	3,7354
9,81	0,003	0,00302	335	331,3	1,94E-05	1,9E-05	0,702	0,703	2,8E-05	2,7E-05	347,71	365,71	2,05	2,07	0,029	0,0286	3,844	3,8451
9,81	0,003	0,00299	338,65	334,75	1,98E-05	1,9E-05	0,702	0,702	2,8E-05	2,8E-05	361,4	402,08	2,06	2,11	0,029	0,0289	3,909	3,9515
9,81	0,003	0,003	334,9	333	1,94E-05	1,9E-05	0,702	0,702	2,8E-05	2,7E-05	314,22	366	2,01	2,07	0,029	0,0287	3,768	3,8624
9,81	0,003	0,00305	332,8	327,85	1,92E-05	1,9E-05	0,703	0,703	2,7E-05	2,7E-05	257,78	254,98	1,93	1,93	0,029	0,0284	3,609	3,5562
9,81	0,0031	0,00307	324,45	325,45	1,83E-05	1,8E-05	0,704	0,704	2,6E-05	2,6E-05	134,98	273,42	1,72	1,68	0,028	0,0282	3,133	3,5813

DEBIT 225 LITER/JAM

β (m ² /s ²)	β (1/K)	T Dim (°K)	α kolektor (m ² /h)	Pr	α kolektor (m ² /h)	Ra kp-p	Nu kp-p	k kolektor (W/m ² °K)	h kp-p (W/m ² °K)									
9,81	0,0031	0,00309	322,5	323,4	1,82E-05	1,8E-05	0,704	0,704	2,6E-05	2,6E-05	393,68	458,39	2,16	2,16	0,028	0,028	3,92	3,9274
9,81	0,003	0,00304	329,75	328,5	1,89E-05	1,9E-05	0,703	0,703	2,7E-05	2,7E-05	348,56	315,26	2,05	2,01	0,029	0,0284	3,794	3,7094
9,81	0,003	0,00298	333,65	335,15	1,93E-05	1,9E-05	0,702	0,702	2,7E-05	2,8E-05	369,25	361,82	2,07	2,06	0,029	0,0289	3,876	3,875
9,81	0,003	0,00298	338,4	335,9	1,98E-05	2E-05	0,702	0,702	2,8E-05	2,8E-05	409,2	377,03	2,11	2,08	0,029	0,029	4,002	3,9136
9,81	0,003	0,00303	332,85	330,2	1,92E-05	1,9E-05	0,702	0,703	2,7E-05	2,7E-05	364,57	271,68	2,07	1,95	0,029	0,0285	3,858	3,6212
9,81	0,003	0,00306	328,8	326,5	1,88E-05	1,9E-05	0,703	0,703	2,7E-05	2,6E-05	244,69	157,34	1,92	1,77	0,028	0,0283	3,537	3,2393
9,81	0,0031	0,0031	327,2	322,9	1,86E-05	1,8E-05	0,703	0,704	2,7E-05	2,6E-05	193,57	15,055	1,83	1,19	0,028	0,028	3,371	2,708

DEBIT 1000 LITER/JAM

At (m ²)	qf (W)		qmax (W)		qf		sp		P (m)	k (m/sek)	Ac (m ²)	D (m)	t (m)	Bb (K)	a (N/m ² .s)	z	hr (W/m ²)	At (m ²)	Ab (m ²)			
0,0005	0,0013	0,0009	0,0846	0,05201	0,015	0,018	0,88	0,88	0,0978	53	53	2,66E-05	0,0154	0,0006	41,5	30,3	5,67E-08	0,95	7,161	7,702	0,64	0,39
0,0005	0,0014	0,001	0,0914	0,062	0,015	0,017	0,88	0,88	0,0978	53	53	2,66E-05	0,0154	0,0006	44,3	33,9	5,67E-08	0,95	7,436	8,033	0,64	0,39
0,0005	0,0015	0,0013	0,1037	0,08274	0,014	0,015	0,88	0,88	0,0978	53	53	2,66E-05	0,0154	0,0006	48,2	42	5,67E-08	0,95	7,925	8,316	0,64	0,39
0,0005	0,0015	0,0013	0,1115	0,09221	0,014	0,015	0,88	0,88	0,0978	53	53	2,66E-05	0,0154	0,0006	50,8	45,5	5,67E-08	0,95	8,082	8,428	0,64	0,39
0,0005	0,0012	0,0011	0,0687	0,06473	0,017	0,017	0,88	0,88	0,0978	53	53	2,66E-05	0,0154	0,0006	32,8	32,9	5,67E-08	0,95	7,725	8,057	0,64	0,39
0,0005	0,001	0,0008	0,0517	0,04018	0,019	0,021	0,88	0,88	0,0978	53	53	2,66E-05	0,0154	0,0006	26,6	22,7	5,67E-08	0,95	7,585	7,95	0,64	0,39
0,0005	0,0005	0,0005	0,017	0,01738	0,031	0,029	0,88	0,88	0,0978	53	53	2,66E-05	0,0154	0,0006	10,2	11,4	5,67E-08	0,95	7,197	7,322	0,64	0,39

DEBIT 700 LITER/JAM

At (m ²)	qf (W)		qmax (W)		qf		sp		P (m)	k (m/sek)	Ac (m ²)	D (m)	t (m)	Bb (K)	a (N/m ² .s)	z	hr (W/m ²)	At (m ²)	Ab (m ²)			
0,0005	0,0012	0,0011	0,0744	0,06688	0,016	0,017	0,88	0,88	0,0978	53	53	2,66E-05	0,0154	0,0006	38,3	34,9	5,67E-08	0,95	7,641	7,416	0,64	0,39
0,0005	0,0012	0,0012	0,0808	0,07945	0,015	0,016	0,88	0,88	0,0978	53	53	2,66E-05	0,0154	0,0006	41,7	40,2	5,67E-08	0,95	7,902	7,725	0,64	0,39
0,0005	0,0013	0,0013	0,0845	0,0863	0,015	0,015	0,88	0,88	0,0978	53	53	2,66E-05	0,0154	0,0006	42,1	43	5,67E-08	0,95	8,163	8,199	0,64	0,39
0,0005	0,0013	0,0014	0,0853	0,09097	0,015	0,015	0,88	0,88	0,0978	53	53	2,66E-05	0,0154	0,0006	41,8	43,6	5,67E-08	0,95	8,354	8,482	0,64	0,39
0,0005	0,0009	0,0011	0,0471	0,06641	0,02	0,017	0,88	0,88	0,0978	53	53	2,66E-05	0,0154	0,0006	24,3	33,9	5,67E-08	0,95	8,121	8,169	0,64	0,39
0,0005	0,0008	0,0008	0,0339	0,039	0,023	0,021	0,88	0,88	0,0978	53	53	2,66E-05	0,0154	0,0006	18,6	22,3	5,67E-08	0,95	7,797	7,825	0,64	0,39
0,0005	0,0007	0,0005	0,0253	0,01669	0,026	0,027	0,88	0,88	0,0978	53	53	2,66E-05	0,0154	0,0006	14,6	13,2	5,67E-08	0,95	7,625	7,441	0,64	0,39

DEBIT 475 LITER/JAM

At (m ²)	qf (W)		qmax (W)		qf		sp		P (m)	k (m/sek)	Ac (m ²)	D (m)	t (m)	Bb (K)	a (N/m ² .s)	z	hr (W/m ²)	At (m ²)	Ab (m ²)			
0,0005	0,001	0,0012	0,0561	0,07222	0,017	0,017	0,88	0,88	0,0978	53	53	2,66E-05	0,0154	0,0006	32,6	35,6	5,67E-08	0,95	7,332	7,518	0,64	0,39
0,0005	0,0012	0,0012	0,0782	0,07699	0,016	0,016	0,88	0,88	0,0978	53	53	2,66E-05	0,0154	0,0006	39,8	38,9	5,67E-08	0,95	7,739	7,624	0,64	0,39
0,0005	0,0013	0,0013	0,0851	0,08048	0,015	0,016	0,88	0,88	0,0978	53	53	2,66E-05	0,0154	0,0006	41,8	39,5	5,67E-08	0,95	8,105	7,84	0,64	0,39
0,0005	0,0013	0,0013	0,0888	0,08794	0,015	0,015	0,88	0,88	0,0978	53	53	2,66E-05	0,0154	0,0006	42,9	42	5,67E-08	0,95	8,374	8,089	0,64	0,39
0,0005	0,0011	0,0012	0,0573	0,07839	0,018	0,016	0,88	0,88	0,0978	53	53	2,66E-05	0,0154	0,0006	28,7	38,3	5,67E-08	0,95	8,097	7,961	0,64	0,39
0,0005	0,0008	0,001	0,0381	0,05088	0,022	0,019	0,88	0,88	0,0978	53	53	2,66E-05	0,0154	0,0006	19,9	27	5,67E-08	0,95	7,944	7,595	0,64	0,39
0,0005	0,0006	0,0008	0,0208	0,0389	0,028	0,022	0,88	0,88	0,0978	53	53	2,66E-05	0,0154	0,0006	12,5	20,5	5,67E-08	0,95	7,359	7,429	0,64	0,39

DEBIT 225 LITER/JAM

At (m ²)	qf (W)		qmax (W)		qf		sp		P (m)	k (m/sek)	Ac (m ²)	D (m)	t (m)	Bb (K)	a (N/m ² .s)	z	hr (W/m ²)	At (m ²)	Ab (m ²)			
0,0005	0,0012	0,0013	0,0773	0,08074	0,016	0,016	0,88	0,88	0,0978	53	53	2,66E-05	0,0154	0,0006	37,2	38,7	5,67E-08	0,95	7,231	7,294	0,64	0,39
0,0005	0,0012	0,0012	0,0778	0,07607	0,016	0,016	0,88	0,88	0,0978	53	53	2,66E-05	0,0154	0,0006	38,7	38,7	5,67E-08	0,95	7,73	7,641	0,64	0,39
0,0005	0,0013	0,0013	0,0879	0,08542	0,015	0,015	0,88	0,88	0,0978	53	53	2,66E-05	0,0154	0,0006	42,8	41,6	5,67E-08	0,95	8,008	8,116	0,64	0,39
0,0005	0,0013	0,0014	0,088	0,09498	0,015	0,015	0,88	0,88	0,0978	53	53	2,66E-05	0,0154	0,0006	41,5	45,8	5,67E-08	0,95	8,357	8,172	0,64	0,39
0,0005	0,0012	0,0012	0,0675	0,07502	0,017	0,016	0,88	0,88	0,0978	53	53	2,66E-05	0,0154	0,0006	33	39,1	5,67E-08	0,95	7,95	7,76	0,64	0,39
0,0005	0,0009	0,0008	0,0448	0,03862	0,02	0,021	0,88	0,88	0,0978	53	53	2,66E-05	0,0154	0,0006	23,9	22,5	5,67E-08	0,95	7,661	7,5	0,64	0,39
0,0005	0,0008	0,0003	0,0339	0,01035	0,023	0,023	0,88	0,88	0,0978	53	53	2,66E-05	0,0154	0,0006	19	9	5,67E-08	0,95	7,549	7,254	0,64	0,39

PERPINDAHAN PANAS ANTARA PIPA DAN AIR

DEBIT 1000 LITER/JAM																		
Do (m)	Di (m)	μ air (Ns/m ²)	ρ air (kg/m ³)	Re p-a	V air (m/s)	Pr	Na p-a	k air (W/mK)	h p-a (W/m ² K)	k pipa (W/mK)								
0,0154	1,50E-02	0,0008	0,00075	994,78	994,78	3,12E+04	3,12E+04	1,57E+00	5,0782	5,0782	155,757	155,757	0,6217	0,62168	6455,42	6455,42	42,605	42,605
0,0154	1,50E-02	0,0007	0,00072	994,04	994,1	3,25E+04	3,23E+04	1,57E+00	4,8636	4,861	158,386	158,368	0,6246	0,6244	6505,62	6503,99	42,79	42,775
0,0154	1,50E-02	0,0007	0,0007	993,4	993,54	3,36E+04	3,33E+04	1,57E+00	4,678	4,7186	160,781	160,247	0,6272	0,62664	6722,78	6694,47	42,95	42,915
0,0154	1,50E-02	0,0007	0,00068	992,96	992,88	3,45E+04	3,46E+04	1,57E+00	4,5504	4,5272	162,497	162,816	0,629	0,62928	6813,62	6830,45	43,06	43,08
0,0154	1,50E-02	0,0007	0,00064	992,64	992,04	3,55E+04	3,64E+04	1,57E+00	4,3996	4,2836	164,605	166,288	0,631	0,63264	6924,82	7013,37	43,19	43,29
0,0154	1,50E-02	0,0006	0,00063	991,82	991,6	3,69E+04	3,74E+04	1,57E+00	4,2199	4,156	167,238	168,206	0,6335	0,6344	7062,25	7113,99	43,345	43,4
0,0154	1,50E-02	0,0006	0,00062	991,54	991,42	3,75E+04	3,78E+04	1,57E+00	4,1386	4,1038	168,473	169,011	0,6346	0,63512	7127,98	7156,16	43,415	43,445
DEBIT 700 LITER/JAM																		
Do (m)	Di (m)	μ air (Ns/m ²)	ρ air (kg/m ³)	Re p-a	V air (m/s)	Pr	Na p-a	k air (W/mK)	h p-a (W/m ² K)	k pipa (W/mK)								
0,0154	1,50E-02	0,0007	0,00075	994,54	994,8	2,31E+04	2,28E+04	1,15E+00	5,0086	5,084	121,74	121,036	0,6226	0,6216	5053,36	5015,73	42,665	42,6
0,0154	1,50E-02	0,0007	0,00073	993,64	994,16	2,42E+04	2,35E+04	1,15E+00	4,8984	4,8984	124,286	122,794	0,6262	0,62416	5188,86	5109,55	42,89	42,76
0,0154	1,50E-02	0,0007	0,00067	992,72	992,8	2,55E+04	2,54E+04	1,15E+00	4,4808	4,504	127,077	126,826	0,6299	0,6296	5336,56	5323,32	43,12	43,1
0,0154	1,50E-02	0,0006	0,00064	992,1	991,96	2,64E+04	2,67E+04	1,15E+00	4,301	4,2604	129,077	129,543	0,6324	0,63296	5441,91	5466,39	43,275	43,31
0,0154	1,50E-02	0,0006	0,00062	991,72	991,54	2,71E+04	2,74E+04	1,15E+00	4,1908	4,1286	130,955	130,975	0,6339	0,63464	5508,99	5541,46	43,37	43,415
0,0154	1,50E-02	0,0006	0,00061	991,38	991,2	2,76E+04	2,80E+04	1,15E+00	4,0922	4,04	131,534	132,173	0,6353	0,636	5570,73	5604,1	43,455	43,5
0,0154	1,50E-02	0,0006	0,0006	991,12	990,94	2,81E+04	2,84E+04	1,15E+00	4,0168	3,9646	132,459	133,112	0,6363	0,63704	5619,09	5653,17	43,52	43,565
DEBIT 475 LITER/JAM																		
Do (m)	Di (m)	μ air (Ns/m ²)	ρ air (kg/m ³)	Re p-a	V air (m/s)	Pr	Na p-a	k air (W/mK)	h p-a (W/m ² K)	k pipa (W/mK)								
0,0154	1,50E-02	0,0007	0,00074	994,34	994,48	1,52E+04	1,51E+04	1,47E-01	4,9506	4,9912	86,7146	86,4405	0,6234	0,62288	3604,09	3583,47	42,715	42,68
0,0154	1,50E-02	0,0007	0,0007	993,36	993,4	1,60E+04	1,60E+04	1,47E-01	4,6664	4,678	88,7164	88,6317	0,6274	0,6272	3710,47	3705,99	42,96	42,95
0,0154	1,50E-02	0,0007	0,00066	992,5	992,42	1,68E+04	1,69E+04	1,47E-01	4,417	4,3538	90,6032	90,7855	0,6308	0,63112	3810,17	3819,77	43,175	43,195
0,0154	1,50E-02	0,0006	0,00064	991,88	991,96	1,74E+04	1,74E+04	1,47E-01	4,2372	4,2604	92,0476	91,857	0,6333	0,63296	3886,13	3876,12	43,3	43,31
0,0154	1,50E-02	0,0006	0,00062	991,22	991,4	1,82E+04	1,80E+04	1,47E-01	4,0458	4,008	93,6703	93,2186	0,6359	0,6352	3971,12	3947,5	43,405	43,45
0,0154	1,50E-02	0,0006	0,0006	990,76	990,94	1,87E+04	1,85E+04	1,47E-01	3,9124	3,9446	94,8577	94,3873	0,6378	0,63704	4033,09	4008,56	43,41	43,565
0,0154	1,50E-02	0,0006	0,00059	990,4	990,58	1,92E+04	1,89E+04	1,47E-01	3,808	3,8602	95,8216	95,3257	0,6392	0,63848	4083,28	4058	43,7	43,655
DEBIT 225 LITER/JAM																		
Do (m)	Di (m)	μ air (Ns/m ²)	ρ air (kg/m ³)	Re p-a	V air (m/s)	Pr	Na p-a	k air (W/mK)	h p-a (W/m ² K)	k pipa (W/mK)								
0,0154	1,50E-02	0,0007	0,00072	994	993,9	7,32E+03	7,36E+03	3,54E-01	4,852	4,823	48,0689	48,1804	0,6248	0,6252	2002,23	2008,16	42,8	42,825
0,0154	1,50E-02	0,0007	0,00068	992,8	993,06	7,82E+03	7,71E+03	3,54E-01	4,504	4,5794	49,4649	49,1512	0,6296	0,62856	2076,21	2059,63	43,1	43,035
0,0154	1,50E-02	0,0006	0,00064	992,04	992	8,18E+03	8,20E+03	3,54E-01	4,2836	4,272	50,4205	50,4725	0,6326	0,6328	2126,54	2129,27	43,29	43,3
0,0154	1,50E-02	0,0006	0,00061	991,54	991,28	8,44E+03	8,58E+03	3,54E-01	4,1386	4,0632	51,083	51,4388	0,6346	0,63568	2161,29	2179,91	43,415	43,48
0,0154	1,50E-02	0,0006	0,00059	990,98	990,78	8,74E+03	8,86E+03	3,54E-01	3,9762	3,9182	51,8595	52,1462	0,6369	0,63768	2201,88	2216,84	43,555	43,605
0,0154	1,50E-02	0,0006	0,00058	990,48	990,38	9,03E+03	9,09E+03	3,54E-01	3,8312	3,8072	52,586	52,7353	0,6389	0,63928	2239,74	2247,51	43,68	43,705
0,0154	1,50E-02	0,0006	0,00056	990,04	989,96	9,31E+03	9,36E+03	3,54E-01	3,7036	3,6804	53,2533	53,3775	0,6406	0,64096	2274,41	2280,86	43,79	43,81

PERPINDAHAN PANAS ANTARA KACA PENUTUP DENGAN PLAT ABSORBER

DEBIT 3000 LITER/AM

β (m ² /s)	β (1/s)	T film (°K)	α kolektor (m ² /s)	α kolektor (m ² /s)	Ra kg-ps	Nu kg-ps	k kolektor (W/m ²)	h kg-ps (W/m ²)	ϵ	σ (W/m ² /K ⁴)	hr kg-ps (w/m ²)									
9,81	0,0029	0,0029	342,7	350,1	2E-05	2E-05	2,9E-05	3E-05	30981,86	41955,36	3,74	3,86	0,0295	0,03	3,686	3,805	0,9	5,67E-08	8,301	8,3025
9,81	0,0029	0,0028	348,7	356,8	2,1E-05	2E-05	3E-05	3,1E-05	35567,1	40160,3	3,71	3,82	0,0299	0,0305	3,696	3,886	0,9	5,67E-08	8,666	8,6656
9,81	0,0028	0,0028	359,9	361,4	2,2E-05	2E-05	3,1E-05	3,2E-05	35545,19	34824,28	3,71	3,69	0,0307	0,0308	3,798	3,792	0,9	5,67E-08	9,536	9,5357
9,81	0,0028	0,0028	362,7	363,6	2,2E-05	2E-05	3,2E-05	3,2E-05	33250,24	33182,93	3,65	3,64	0,0309	0,031	3,76	3,766	0,9	5,67E-08	9,754	9,7544
9,81	0,0028	0,0028	354,1	356,5	2,1E-05	2E-05	3E-05	3,1E-05	34388,21	34146,17	3,68	3,67	0,0303	0,0305	3,713	3,719	0,9	5,67E-08	9,075	9,0751
9,81	0,0029	0,0029	346,9	349,3	2,1E-05	2E-05	2,9E-05	3E-05	32216,19	30423,16	3,62	3,57	0,0298	0,0299	3,59	3,559	0,9	5,67E-08	8,533	8,5328
9,81	0,003	0,003	329,1	332,5	1,9E-05	2E-05	2,7E-05	2,7E-05	13802,26	20871,46	2,91	3,25	0,0285	0,0287	2,755	3,105	0,9	5,67E-08	7,277	7,2768

DEBIT 2300 LITER/AM

β (m ² /s)	β (1/s)	T film (°K)	α kolektor (m ² /s)	α kolektor (m ² /s)	Ra kg-ps	Nu kg-ps	k kolektor (W/m ²)	h kg-ps (W/m ²)	ϵ	σ (W/m ² /K ⁴)	hr kg-ps (w/m ²)									
9,81	0,0029	0,0029	348,4	347,1	2,1E-05	2E-05	3E-05	2,9E-05	33212,08	39816,26	3,65	3,81	0,0299	0,0298	3,631	3,786	0,9	5,67E-08	8,641	8,6413
9,81	0,0028	0,0028	354,7	351,6	2,1E-05	2E-05	3,1E-05	3E-05	36964,9	35239,11	3,74	3,7	0,0303	0,0301	3,787	3,713	0,9	5,67E-08	9,128	9,128
9,81	0,0028	0,0028	359,3	360,1	2,2E-05	2E-05	3,1E-05	3,1E-05	34207,31	34518,99	3,67	3,68	0,0307	0,0307	3,756	3,771	0,9	5,67E-08	9,482	9,4824
9,81	0,0028	0,0028	362,2	363,6	2,2E-05	2E-05	3,2E-05	3,2E-05	32199,24	29001,11	3,62	3,52	0,0309	0,031	3,725	3,641	0,9	5,67E-08	9,713	9,7127
9,81	0,0028	0,0028	355,5	357,1	2,1E-05	2E-05	3,1E-05	3,1E-05	32123,81	32123,81	3,59	3,61	0,0304	0,0305	3,64	3,678	0,9	5,67E-08	9,181	9,1808
9,81	0,0029	0,0029	344,5	347,6	2E-05	2E-05	2,9E-05	3E-05	23881,23	31825,03	3,36	3,61	0,0296	0,0298	3,311	3,584	0,9	5,67E-08	8,351	8,3515
9,81	0,0029	0,003	339,4	334,9	2E-05	2E-05	2,8E-05	2,8E-05	20964,29	25639,54	3,25	3,42	0,0292	0,0289	3,164	3,289	0,9	5,67E-08	7,981	7,9808

DEBIT 475 LITER/AM

β (m ² /s)	β (1/s)	T film (°K)	α kolektor (m ² /s)	α kolektor (m ² /s)	Ra kg-ps	Nu kg-ps	k kolektor (W/m ²)	h kg-ps (W/m ²)	ϵ	σ (W/m ² /K ⁴)	hr kg-ps (w/m ²)									
9,81	0,0029	0,0029	342,6	347,9	2E-05	2E-05	2,9E-05	3E-05	40314,89	32801,63	3,83	3,63	0,0294	0,0298	3,756	3,615	0,9	5,67E-08	8,221	8,2206
9,81	0,0028	0,0028	352,5	351,6	2,1E-05	2E-05	3E-05	3E-05	36956,53	38561,31	3,74	3,78	0,0302	0,0301	3,766	3,798	0,9	5,67E-08	8,995	8,9946
9,81	0,0028	0,0028	358,5	355,4	2,2E-05	2E-05	3,1E-05	3,1E-05	33222,33	35877,31	3,65	3,72	0,0306	0,0304	3,724	3,705	0,9	5,67E-08	9,422	9,422
9,81	0,0028	0,0028	359,9	359,2	2,2E-05	2E-05	3,2E-05	3,1E-05	31602	32392,47	3,6	3,62	0,031	0,0307	3,714	3,704	0,9	5,67E-08	9,773	9,7728
9,81	0,0028	0,0028	357,4	357,1	2,2E-05	2E-05	3,1E-05	3,1E-05	33240,54	34692,77	3,65	3,68	0,0305	0,0305	3,712	3,749	0,9	5,67E-08	9,331	9,3312
9,81	0,0028	0,0029	352	346,5	2,1E-05	2E-05	3E-05	2,9E-05	31285,24	33288,35	3,59	3,65	0,0301	0,0297	3,608	3,615	0,9	5,67E-08	8,911	8,9114
9,81	0,0029	0,0029	340	342,2	2E-05	2E-05	2,8E-05	2,9E-05	35123,53	29687,65	3,7	3,54	0,0293	0,0294	3,605	3,476	0,9	5,67E-08	8,03	8,0305

DEBIT 225 LITER/AM

β (m ² /s)	β (1/s)	T film (°K)	α kolektor (m ² /s)	α kolektor (m ² /s)	Ra kg-ps	Nu kg-ps	k kolektor (W/m ²)	h kg-ps (W/m ²)	ϵ	σ (W/m ² /K ⁴)	hr kg-ps (w/m ²)									
9,81	0,0029	0,0029	344,6	345,5	2E-05	2E-05	2,9E-05	2,9E-05	37071,78	33056,41	3,75	3,64	0,0296	0,0297	3,697	3,6	0,9	5,67E-08	8,367	8,3672
9,81	0,0028	0,0029	352,6	350,2	2,1E-05	2E-05	3E-05	3E-05	35599,29	32962,74	3,71	3,72	0,0302	0,03	3,723	3,72	0,9	5,67E-08	8,965	8,9648
9,81	0,0028	0,0028	356,3	358,7	2,2E-05	2E-05	3,1E-05	3,1E-05	31452,78	32500,74	3,6	3,63	0,0305	0,0306	3,651	3,703	0,9	5,67E-08	9,243	9,2433
9,81	0,0027	0,0028	364,3	359,6	2,2E-05	2E-05	3,2E-05	3,1E-05	32012,91	31591,19	3,61	3,6	0,0311	0,0307	3,739	3,685	0,9	5,67E-08	9,883	9,8832
9,81	0,0028	0,0028	358,8	351,7	2,2E-05	2E-05	3,1E-05	3E-05	38106,72	40428,88	3,77	3,83	0,0306	0,0303	3,854	3,864	0,9	5,67E-08	9,447	9,4471
9,81	0,0029	0,0029	350,7	343,2	2,1E-05	2E-05	3E-05	2,9E-05	39719,49	35265,87	3,81	3,7	0,03	0,0295	3,818	3,637	0,9	5,67E-08	8,82	8,8201
9,81	0,0029	0,003	344,9	329,1	2E-05	2E-05	2,9E-05	2,7E-05	35120,73	18680,43	3,7	3,16	0,0296	0,0284	3,65	2,993	0,9	5,67E-08	8,388	8,3876

KOEFISIEN KEHILANGAN PANAS

DEBIT 1000 LITER/JAM

K _{ada} (W/mK)	K _{gw} (W/mK)	R ₀ (m ² /W)	R _b (m ² /W)	R _{ip-1} (m ² /W)	R _{ip-2} (m ² /W)	R _{ip-3} (m ² /W)	R _{ip-4} (m ² /W)	R _{isolator} (m ² /W)	U _{total} (W/m ² K)							
374,385	372,705	0,037	1,3749	1,3749	0,1191	0,0863	0,0834	0,0822	0,0948	0,09473	0,00077	0,000772	0,04454	0,04417	6,3887	8,3899
373,4575	371,41	0,037	1,3749	1,3749	0,0932	0,0987	0,0809	0,07967	0,092	0,09039	0,00077	0,000767	0,04322	0,04249	6,0562	7,8108
371,1125	370,868	0,037	1,3749	1,3749	0,113	0,0808	0,075	0,07503	0,0849	0,08626	0,00076	0,000762	0,04042	0,04029	7,3435	8,6593
370,775	370,535	0,037	1,3749	1,3749	0,1309	0,0788	0,074	0,07396	0,0852	0,08475	0,00076	0,000757	0,03966	0,03966	6,9495	9,1717
372,425	371,935	0,037	1,3749	1,3749	0,0937	0,0931	0,0782	0,0781	0,0892	0,08826	0,00075	0,00075	0,04183	0,0416	8,1029	8,1499
374,0525	373,703	0,037	1,3749	1,3749	0,1025	0,0883	0,0825	0,0827	0,0924	0,09177	0,00075	0,000747	0,04376	0,04367	7,5455	8,3068
378,6725	377,623	0,037	1,3749	1,3749	0,0936	0,0896	0,0997	0,09632	0,1002	0,1004	0,00075	0,000745	0,05015	0,04957	7,6857	7,9127

DEBIT 730 LITER/JAM

K _{ada} (W/mK)	K _{gw} (W/mK)	R ₀ (m ² /W)	R _b (m ² /W)	R _{ip-1} (m ² /W)	R _{ip-2} (m ² /W)	R _{ip-3} (m ² /W)	R _{ip-4} (m ² /W)	R _{isolator} (m ² /W)	U _{total} (W/m ² K)							
373,685	373,493	0,037	1,3749	1,3749	0,0924	0,106	0,0815	0,08047	0,092	0,0943	0,00081	0,000817	0,04339	0,04359	8,0913	7,4102
372,0925	372,88	0,037	1,3749	1,3749	0,1041	0,1188	0,0774	0,07787	0,0899	0,0908	0,00081	0,000811	0,04177	0,04209	7,5825	6,9415
371,3575	371,165	0,037	1,3749	1,3749	0,0986	0,1153	0,0755	0,07545	0,0869	0,08668	0,0008	0,000798	0,04059	0,04051	7,9117	7,1455
370,92	370,903	0,037	1,3749	1,3749	0,1153	0,1182	0,0744	0,07488	0,0851	0,08366	0,00079	0,00079	0,03987	0,03969	7,1717	7,0598
372,3725	371,97	0,037	1,3749	1,3749	0,1011	0,0917	0,078	0,07777	0,0881	0,0875	0,00079	0,000786	0,04155	0,04135	7,7388	8,2458
375,1025	374,948	0,037	1,3749	1,3749	0,0955	0,0995	0,0857	0,08378	0,0923	0,09314	0,00078	0,000783	0,04464	0,04428	7,8615	7,683
376,2925	376,87	0,037	1,3749	1,3749	0,0954	0,0984	0,0897	0,08873	0,0951	0,10474	0,00078	0,000781	0,04635	0,04682	7,7794	7,5481

DEBIT 475 LITER/JAM

K _{ada} (W/mK)	K _{gw} (W/mK)	R ₀ (m ² /W)	R _b (m ² /W)	R _{ip-1} (m ² /W)	R _{ip-2} (m ² /W)	R _{ip-3} (m ² /W)	R _{ip-4} (m ² /W)	R _{isolator} (m ² /W)	U _{total} (W/m ² K)							
374,4025	373,808	0,037	1,3749	1,3749	0,1027	0,0997	0,0835	0,08449	0,0981	0,0918	0,00089	0,000895	0,04529	0,0442	7,4849	7,6778
372,565	372,635	0,037	1,3749	1,3749	0,0951	0,0952	0,0786	0,07842	0,0908	0,0916	0,00088	0,000882	0,04233	0,04244	8,0032	7,9905
371,585	372,04	0,037	1,3749	1,3749	0,0943	0,098	0,0761	0,07583	0,087	0,08906	0,00087	0,000871	0,04077	0,04114	8,1303	7,9157
370,815	371,515	0,037	1,3749	1,3749	0,0942	0,1035	0,0741	0,0742	0,0846	0,08442	0,00086	0,000865	0,0397	0,04011	8,1979	7,6912
371,83	371,778	0,037	1,3749	1,3749	0,1008	0,0858	0,0767	0,07645	0,0876	0,08798	0,00086	0,000859	0,04106	0,04109	7,7746	8,6078
374,09	374,07	0,037	1,3749	1,3749	0,1003	0,0942	0,0799	0,07983	0,0899	0,09319	0,00085	0,000853	0,04247	0,04318	7,7313	8,0046
375,775	375,173	0,037	1,3749	1,3749	0,0995	0,124	0,0859	0,08691	0,0988	0,09444	0,00085	0,000849	0,04614	0,04545	7,5939	6,6282

0,97

K _{ada} (W/mK)	K _{gw} (W/mK)	R ₀ (m ² /W)	R _b (m ² /W)	R _{ip-1} (m ² /W)	R _{ip-2} (m ² /W)	R _{ip-3} (m ² /W)	R _{ip-4} (m ² /W)	R _{isolator} (m ² /W)	U _{total} (W/m ² K)							
374,1925	374,28	0,037	1,3749	1,3749	0,1235	0,1287	0,0829	0,08356	0,0936	0,0929	0,00111	0,001112	0,0442	0,04424	6,6913	6,5102
372,635	373,108	0,037	1,3749	1,3749	0,1022	0,1011	0,0788	0,07883	0,0903	0,09165	0,00109	0,001097	0,0423	0,04261	7,4478	7,6846
372,1975	371,62	0,037	1,3749	1,3749	0,0873	0,1002	0,0776	0,07724	0,0875	0,08672	0,00108	0,001077	0,04136	0,04109	8,5094	7,3831
370,5	371,488	0,037	1,3749	1,3749	0,094	0,1112	0,0734	0,0737	0,0841	0,08605	0,00107	0,001064	0,03944	0,03993	8,2203	7,3458
371,1475	372,04	0,037	1,3749	1,3749	0,0999	0,1099	0,0752	0,07513	0,0881	0,09131	0,00106	0,001054	0,04079	0,04143	7,8336	7,6078
372,74	374,613	0,037	1,3749	1,3749	0,0873	0,0995	0,0791	0,08027	0,0928	0,09655	0,00105	0,001047	0,04292	0,04405	8,4066	7,6914
374,3625	378,393	0,037	1,3749	1,3749	0,0826	0,1225	0,0831	0,08787	0,0995	0,10903	0,00104	0,001039	0,04455	0,04886	8,5907	6,564

FAKTOR PELEPASAN PANAS

DEBIT 1800 LITER/DAM

m	F	F'	F''	F'''	F''''	F'''''	F''''''	F'''''''	F''''''''	Cp (1/deg K)	h (degK)	h (degK)	h (degK)
2,02212	2,2549	0,98644	0,98235	0,98063	0,98126	0,97922	0,977421	0,982881	0,978541	4178,2	4178,21	0,27633	0,2763278
2,18421	2,1268	0,98403	0,98462	0,982	0,982456	0,97743	0,97051	0,979479	0,98001	4178,6	4178,55	0,27612	0,2761289
2,12396	2,0578	0,98552	0,98274	0,98376	0,980538	0,97769	0,97244	0,982887	0,977935	4178,9	4178,82	0,27594	0,2759423
2,06251	2,518	0,98629	0,98172	0,98444	0,979587	0,97778	0,970883	0,98225	0,976729	4179,1	4179,16	0,27582	0,2758
2,17867	2,22001	0,98289	0,98278	0,98203	0,981958	0,97741	0,977399	0,979492	0,979488	4179,4	4179,58	0,27568	0,2755667
2,18009	2,22279	0,98501	0,98255	0,98232	0,981737	0,97958	0,977348	0,980944	0,979134	4179,7	4179,8	0,27551	0,2754444
2,18562	2,22682	0,98496	0,98448	0,98216	0,982747	0,97954	0,977471	0,980939	0,982161	4179,8	4179,89	0,27542	0,2753844

DEBIT 240 LITER/DAM

m	F	F'	F''	F'''	F''''	F'''''	F''''''	F'''''''	F''''''''	Cp (1/deg K)	h (degK)	h (degK)	h (degK)
2,19884	2,14962	0,98267	0,98529	0,98081	0,982355	0,98448	0,986768	0,977358	0,97918	4178,3	4178,2	0,28167	0,2817233
2,19202	2,2509	0,9848	0,98518	0,98206	0,982526	0,98469	0,98667	0,978805	0,980523	4178,8	4178,52	0,28148	0,2815826
2,2638	2,18254	0,98422	0,98572	0,98139	0,982142	0,98655	0,986875	0,978204	0,98027	4179,2	4179,2	0,2813	0,2813178
2,18825	2,2897	0,98566	0,98588	0,98216	0,983435	0,98686	0,98691	0,980076	0,980386	4179,6	4179,62	0,28118	0,2811474
2,22852	2,29227	0,9846	0,9836	0,98196	0,980819	0,98642	0,9864	0,978641	0,977288	4179,7	4179,82	0,2811	0,2810623
2,22715	2,28512	0,98447	0,98477	0,98183	0,982217	0,98656	0,986429	0,978455	0,978916	4179,9	4180	0,28103	0,2809923
2,2151	2,14652	0,98468	0,98515	0,98209	0,982659	0,9866	0,986696	0,978752	0,978412	4180	4180,12	0,28098	0,2809406

DEBIT 475 LITER/DAM

m	F	F'	F''	F'''	F''''	F'''''	F''''''	F'''''''	F''''''''	Cp (1/deg K)	h (degK)	h (degK)	h (degK)
2,16261	2,29655	0,98518	0,98478	0,98047	0,979928	0,985	0,984872	0,975561	0,974982	4178,4	4178,26	0,2812	0,2812261
2,1778	2,27438	0,98409	0,98412	0,97927	0,979295	0,98465	0,984662	0,974932	0,974968	4178,9	4178,9	0,28107	0,2810736
2,20757	2,2162	0,9838	0,98424	0,97908	0,979652	0,98457	0,984205	0,973276	0,974465	4179,4	4179,29	0,28095	0,2809443
2,21474	2,21742	0,98364	0,98466	0,97901	0,980238	0,98452	0,984849	0,973639	0,975235	4179,7	4179,62	0,28087	0,280836
2,22225	2,22242	0,98351	0,98288	0,98212	0,978124	0,98479	0,984248	0,975122	0,972488	4180	4179,9	0,28079	0,280807
2,21889	2,22998	0,98365	0,98415	0,98047	0,979798	0,98482	0,984828	0,975289	0,974544	4180,2	4180,12	0,28073	0,280749
2,18882	2,07212	0,985	0,98687	0,98096	0,982388	0,9849	0,98554	0,975958	0,978912	4180,4	4180,31	0,28068	0,2807015

DEBIT 225 LITER/DAM

m	F	F'	F''	F'''	F''''	F'''''	F''''''	F'''''''	F''''''''	Cp (1/deg K)	h (degK)	h (degK)	h (degK)
2,99815	2,99906	0,98672	0,98707	0,97806	0,978673	0,98061	0,980852	0,968872	0,96972	4178,6	4178,65	0,06211	0,0621288
2,10381	2,28906	0,98079	0,98474	0,97536	0,975122	0,98029	0,980184	0,964913	0,964683	4179,2	4179,27	0,06205	0,0620663
2,27828	2,15177	0,98211	0,98227	0,97296	0,974417	0,98013	0,98964	0,961461	0,966381	4179,6	4179,6	0,062	0,062
2,2207	2,14422	0,98258	0,98534	0,97395	0,976766	0,9805	0,980682	0,962742	0,966687	4179,8	4179,96	0,06197	0,061955
2,14857	2,19757	0,98322	0,98484	0,97536	0,97625	0,98021	0,980218	0,964643	0,965723	4180,1	4180,21	0,06194	0,0619238
2,1681	2,28403	0,98322	0,98478	0,97386	0,976125	0,98023	0,980198	0,962397	0,965582	4180,4	4180,41	0,06191	0,0618988
2,28775	2,04509	0,98303	0,98711	0,97354	0,979786	0,98297	0,980724	0,962827	0,970797	4180,6	4180,62	0,06188	0,0618725

INTENSITAS YANG DITERIMA PLAT ABSORBER DAN ENERGI BERGUNA

DEBIT 1000 LITER/HAM				DEBIT 1000 LITER/HAM									
IT (W/m ²)	α	τ	S (W/m ²)	Q _u desain (W)	Q _u aktual (W)	η desain (%)	η aktual (%)						
470,59	522,88	0,95	0,79	356,71	396,34	278,466	310,58	103,91	173,183	78,9	79,2	29,44	44,16
588,24	640,52	0,95	0,79	445,89	485,52	330,98	365,47	138,46	173,079	77,06	76,08	31,38	36,03
771,24	784,31	0,95	0,79	584,61	594,51	429,27	436,68	207,57	172,993	74,21	74,24	35,88	39,41
823,53	797,39	0,95	0,79	624,24	604,42	461,917	419,25	345,81	207,47	74,79	70,1	55,99	34,69
718,95	732,03	0,95	0,79	544,97	554,88	372,961	374,06	207,39	207,316	69,17	68,13	38,46	37,76
563,09	627,45	0,95	0,79	426,07	475,61	278,952	307,78	172,73	138,156	66,17	65,4	40,97	29,36
405,23	457,52	0,95	0,79	307,17	346,8	180,729	206,68	103,61	103,601	59,47	60,23	34,09	30,19
DEBIT 730 LITER/HAM				DEBIT 730 LITER/HAM									
IT (W/m ²)	α	τ	S (W/m ²)	Q _u desain (W)	Q _u aktual (W)	η desain (%)	η aktual (%)						
575,16	522,88	0,95	0,79	435,98	396,34	328,475	318,82	75,838	50,5704	76,15	81,3	17,58	12,9
666,67	640,52	0,95	0,79	505,34	485,52	372,64	384,1	101,04	202,167	74,53	79,96	20,21	42,08
718,95	679,74	0,95	0,79	544,97	525,25	391,613	390,81	151,43	151,443	72,63	76,66	28,08	29,71
758,17	758,17	0,95	0,79	574,7	574,7	409,783	425,69	176,57	151,23	72,07	74,86	31,05	26,61
666,67	718,95	0,95	0,79	505,34	544,97	345,915	381,92	151,3	126,061	69,18	70,83	30,26	23,38
588,24	666,67	0,95	0,79	445,89	505,34	296,633	346,19	126,04	50,4091	67,24	69,24	28,57	10,08
470,59	549,02	0,95	0,79	356,71	416,16	224,728	267,44	100,81	125,994	63,67	64,95	28,56	30,6
DEBIT 475 LITER/HAM				DEBIT 475 LITER/HAM									
IT (W/m ²)	α	τ	S (W/m ²)	Q _u desain (W)	Q _u aktual (W)	η desain (%)	η aktual (%)						
601,31	601,31	0,95	0,79	455,79	455,79	339,515	355,16	82,23	230,273	75,28	78,75	18,23	51,06
745,1	692,81	0,95	0,79	564,79	525,15	410,837	390,66	98,59	230,052	73,52	75,38	17,64	44,27
784,31	758,17	0,95	0,79	594,51	574,7	422,903	414,23	114,93	147,762	71,89	72,85	19,54	25,99
836,6	810,46	0,95	0,79	634,25	614,33	446,91	438,65	196,92	65,6453	71,23	72,16	31,38	10,8
758,17	771,24	0,95	0,79	574,7	584,61	388,459	394,38	114,8	131,225	68,32	68,18	20,19	22,69
653,59	614,38	0,95	0,79	495,43	465,7	323,401	291,24	65,575	81,9822	65,97	63,21	13,38	17,79
509,8	496,73	0,95	0,79	386,43	376,53	236,722	231,67	65,554	114,738	61,91	62,18	17,14	30,8
DEBIT 225 LITER/HAM				DEBIT 225 LITER/HAM									
IT (W/m ²)	α	τ	S (W/m ²)	Q _u desain (W)	Q _u aktual (W)	η desain (%)	η aktual (%)						
405,23	496,73	0,95	0,79	307,17	376,53	229,524	282,37	46,727	85,6589	75,52	75,79	15,37	22,99
718,95	601,31	0,95	0,79	544,97	455,79	390,513	330,33	46,677	70,0324	72,42	73,25	8,657	15,53
758,17	718,95	0,95	0,79	574,7	544,97	392,937	382,65	62,195	108,837	69,1	70,96	10,94	20,18
823,53	771,24	0,95	0,79	624,24	584,61	426,401	410,53	85,48	46,6145	69,04	70,97	13,84	8,059
732,03	745,1	0,95	0,79	554,88	564,79	358,373	387,58	69,903	23,2969	65,28	69,36	12,73	4,169
575,16	640,52	0,95	0,79	435,98	485,52	255,829	317,63	46,581	69,8658	59,31	66,12	10,8	14,54
483,66	509,8	0,95	0,79	366,62	386,43	186,383	234,03	46,563	31,0398	51,38	61,21	12,84	8,118

DAFTAR PUSTAKA

1. Incopera & David P. Dewit .1996. *Fundamental Of Heat And Mass Transfer*. Sixth Edition.
2. J.A.Duffie & W.A Beckman. 1997. *Solar Energy Of Thermal Processes*. New York: Willey and Sons,Inc.
3. Kalogirou, Soteris A. 2009. *Solar Energy Engineering. Procces and System*. San Diego.
4. Astuti,Puji. 2010. *Desain Sistem Pemanas Air Menggunakan Radiasi Sinar Matahari*. UIN,Malang
5. Sucipta, Made., Suardamana, I Made & Astawan, Ketut. Oktober 2010. *Performa Kolektor Surya Pelat Bersirip Dengan Variasi Luasan Permukaan Sirip*. Bali. Jurnal Teknik Mesin. Universitas Udayana. Volume 4. No.2.
6. Handoyo,Ekadewi Anggraini. 1999. *Unjuk Kerja Pemanas Air Jenis Kolektor Surya Plat Datar dengan Satu dan Dua Kaca Penutup*. Teknik Mesin, Petra
7. Muharto. Astuti,Ana Dwi & Iuvita,Veny. *Efektivitas Penyerapan Panas Sinar Matahari Oleh Air yang Mengalir Dalam Pipa*.FTI-ITS, Jurusan Teknik Kimia
Wiradhani,Tri. 2011. *Rancang Bangun Pemanas Air Tenaga Surya dengan Menggunakan Kolektor Surya Plat Datar*. FTI -ITS, Jurusan D3 Teknik Mesin.

BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di Madiun 4 Juli 1991, dari pasangan Njamang Joelijanto, SE.MM dan Alis Sutyawati. Anak kedua dari tiga bersaudara. Penulis menempuh pendidikan formal dimulai dari SDN Bakur 1 Madiun, SDN Kaliasin VIII-287 Surabaya, SMPN 1 Surabaya, SMAN 5 Surabaya, D3 Teknik Mesin ITS Surabaya. Setelah lulus D3 Teknik Mesin ITS pada tahun 2012 penulis mengikuti ujian masuk program lintas jalur ITS dan diterima sebagai mahasiswa di Program Studi Strata 1 (S1) Teknik Mesin ITS Surabaya dengan NRP 2112105041. Di Jurusan S1 Teknik Mesin, penulis mengambil tugas akhir dibidang konversi energi dengan mata kuliah perpindahan panas yaitu tentang Solar Energy. Penulis aktif kegiatan ekstrakurikuler futsal baik di jurusan S1 Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri maupun ITS.