

Analisa Performansi Kolektor Surya Pelat Datar Dengan Lima Sirip Berdiameter Sama Yang Disusun Secara Sejajar

I Wayan Sudiantara, Ketut Astawa, I Gusti Ngurah Putu Tenaya
Jurusan Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali

Abstrak

Energi sinar matahari merupakan salah satu sumber energi alternatif sangat besar di Indonesia, dilihat wilayah Indonesia dilalui garis katulistiwa. Di Indonesia masyarakat sangat tergantung dengan adanya sinar matahari. Oleh sebab itu perlu dilakukan sebuah penelitian agar energi sinar matahari yang ada dapat dimanfaatkan dengan maksimal. Kolektor surya yaitu suatu alat yang menyerap dan mengumpulkan energi sinar matahari dan merubahnya menjadi energi panas yang bisa dimanfaatkan. Penelitian ini menggunakan metode eksperimental, dimana kolektor surya pelat datar ini berfungsi untuk menyerap panas radiasi matahari yang datang dan mentransfer panas yang diterima tersebut ke fluida udara, penggunaan pelat tersebut akan dapat meningkatkan penyerapan radiasi sinar matahari. Untuk memperluas bidang penyerapan panas dipasang lima sirip berdiameter sama yang disusun secara sejajar. Hasil dari pengujian terhadap kolektor surya pelat datar dengan lima sirip berdiameter sama yang disusun secara sejajar, maka didapatkan hasil performansi kolektor surya paling besar pada intensitas radiasi matahari 1.122 W/m^2 dengan temperatur keluar kolektor 321 K , energi berguna yang dihasilkan $104,786 \text{ W}$, dan efisiensi sebesar $15,565 \%$.

Kata kunci : Kolektor surya pelat datar, Sirip pelat berlubang, Performan kolektor

Abstract

The energy of sunlight is one of the alternative energy sources are very large in Indonesia, the views of Indonesia passed the equator. In Indonesia the Community depends on the presence of sunlight. Therefore, it needs to do a study so that the energy of sunlight there can be utilized to the maximum. Solar Collector is a tool that absorb and collect solar energy and convert it into heat energy that can be utilized. This research uses experimental methods, where the flat plate solar collector heat serves to absorb incoming solar radiation and heat transfer fluid is received into the air, the use of these plates will be able to increase the absorption of solar radiation. To expand the field of heat absorption fins mounted five same diameter are arranged in parallel. Results from testing of flat plate solar collector with five fin same diameter are arranged in parallel, then showed the performance of the solar collector is greatest in the intensity of solar radiation $1,122 \text{ W / m}^2$ with the exit temperature collectors 321 K , useful energy produced 104.786 W , and efficiency amounted to 15.565% .

Keywords: flat plate solar collectors, perforated plate fin, Performance collector

1. Pendahuluan

Di dunia banyak masyarakat yang memanfaatkan sumber energi dari sinar matahari untuk kebutuhan sehari-hari, misalnya disektor pertanian banyak yang memanfaatkan sinar matahari sebagai pengering hasil pangan para petani dengan cara tradisional yaitu dengan menjemur hasil pangan dengan sinar matahari. Di Indonesia sumber energi sinar matahari sangat besar karena dilihat wilayah Indonesia yang dilalui garis katulistiwa oleh sebab itu sumber energi matahari sangat besar untuk pengembangan teknologi yang memanfaatkan sinar matahari sebagai energi alternatif. Berdasarkan hal tersebut penggunaan berbagai teknologi dikembangkan untuk memanfaatkan energi sinar matahari sebagai sumber energi alternatif, salah satunya adalah kolektor surya yaitu suatu alat yang menyerap dan mengumpulkan energi matahari dan merubahnya menjadi energi panas yang bisa

dimanfaatkan, dimana kolektor surya pelat datar ini dicat berwarna hitam doff yang berfungsi untuk menyerap radiasi matahari yang datang dan mentransfer kalor yang diterima tersebut ke fluida, penggunaan pelat tersebut akan dapat meningkatkan penyerapan radiasi sinar matahari. Radiasi sinar matahari akan mengenai pelat penyerap dimana sebagian akan dipantulkan ke penutup transparan atau kaca transparan dan sebagian akan dipantulkan ke bagian lainnya. Kolektor surya ini dialiri fluida udara yang dikeluarkan oleh blower akan masuk kedalam kolektor, aliran udara akan dibagi oleh *honeycomb* agar udara yang masuk kedalam kolektor merata, setelah aliran udara dibagi oleh *honeycomb* udara akan masuk kedalam kolektor dan pertama akan mengenai sirip berlubang setelah itu aliran udara akan berubah menjadi aliran turbulen yang akan mengalir kesegala

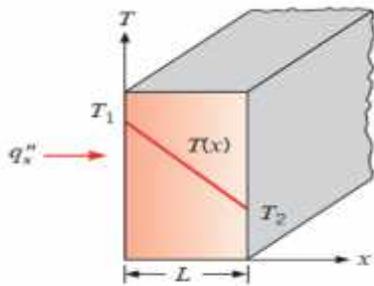
arah didalam kolektor dan juga aliran udara tersebut akan menyerap panas pada pelat penyerap, sebagian fluida udara akan mengalir juga ke bagian sirip kolektor lainnya melalui lubang yang ada pada sirip. Udara akan kembali mengenai sirip berlubang dan merubahnya menjadi aliran turbulen. Ini akan terus berulang sampai udara mengalir melewati sirip terakhir dan keluar dari kolektor surya yang menghasilkan udara panas yang berguna.

2. Dasar Teori

Perpindahan panas (*heat transfer*) adalah proses berpindahnya energi kalor atau panas (*heat*) karena adanya perbedaan temperatur. Dimana energi panas akan berpindah dari temperatur media yang lebih tinggi ke temperatur media yang lebih rendah. Proses perpindahan panas akan terus berlangsung sampai ada kesetimbangan temperatur yang terjadi pada kedua media tersebut. Perpindahan panas dapat terjadi beberapa proses yaitu secara konduksi, konveksi dan radiasi.

2.1 Perpindahan panas secara konduksi

Perpindahan panas secara konduksi adalah proses perpindahan panas melalui benda padat atau fluida yang diam. Proses ini terjadi karena adanya perbedan temperatur yang dimana prosesnya energi panas akan mengalir dari temperatur tinggi ke temperatur rendah pada benda padat. Dari proses perpindahan panas secara konduksi pada *steady state* melalui dinding datar suatu dimensi seperti ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Perpindahan panas konduksi pada bidang datar

Sumber: (Incropera dan DeWitt, 3rd ed.)

Persamaan laju konduksi dikenal dengan Hukum Fourier (Fourier Law of Heat Conduction) tentang konduksi, yang persamaan matematikanya dituliskan sebagai berikut (Kreith, Frank, 1997):

$$q_{kond} = -kA \frac{dT}{dx} \dots \dots \dots (1)$$

Korespondensi: Tel./Fax.: / -
E-mail:

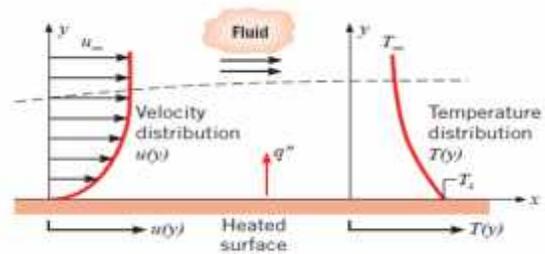
Dimana:

- q_{kond} = Laju perpindahan panas konduksi (W)
- K = Konduktivitas thermal bahan (W/m.K)
- A = Luas penampang tegak lurus terhadap arah aliran panas (m^2)
- $\frac{dT}{dx}$ = Gradien temperatur pada penampang tersebut (K/m)

Tanda (-) diselipkan agar memenuhi hukum Thermodinamika II, yang menyebutkan bahwa, panas dari media bertemperatur lebih tinggi akan bergerak menuju media yang bertemperatur lebih rendah.

2.2 Perpindahan Panas Konveksi

Perpindahan panas secara konveksi adalah perpindahan panas yang terjadi dari suatu permukaan media padat atas fluida yang diam menuju fluida yang mengalir atau bergerak begitu pula sebaliknya, yang terjadi akibat adanya perbedaan temperature. Suatu fluida memiliki temperatur (T) yang bergerak dengan kecepatan (u), diatas permukaan benda padat (Gambar 2). Temperatur media padat lebih tinggi dari temperatur fluida, maka akan terjadi perpindahan panas secara konveksi dari benda padat ke fluida yang mengalir.



Gambar 2. Perpindahan panas konveksi dari permukaan media padat ke fluida yang mengalir

Sumber: (Incropera dan DeWitt, 3rd ed.)

Laju perpindahan panas konveksi mengacu pada Hukum Newton tentang pendinginan (*Newton's Law of Cooling*) (Incropera and De Witt), dimana:

$$q_{konv} = h \cdot A_s \cdot (T_s - T_f) \dots \dots \dots (2)$$

Dimana:

- q_{konv} = Laju perpindahan panas konveksi (W)
- h = Koefisien perpindahan panas konveksi ($W/m^2 \cdot K$)
- A_s = Luas permukaan perpindahan panas (m^2)
- T_s = Temperatur permukaan (K)
- T_f = Temperatur fluida (K)

Menurut perpindahan panas konveksi, aliran fluida dapat diklasifikasikan menjadi:

- a. Konveksi paksa (*forced convection*). Terjadi bila aliran fluida disebabkan oleh gaya luar. Seperti: blower, pompa, dan kipas angin.
- b. Konveksi alamiah (*natural convection*). Terjadi bila aliran fluida disebabkan oleh efek gaya apungnya (*bouyancy forced effect*). Pada fluida, temperatur berbanding terbalik dengan massa jenis (*density*). Dimana, semakin tinggi temperatur suatu fluida maka massa jenisnya akan semakin rendah, begitu pula sebaliknya.

2.3 Perpindahan Panas Radiasi

Perpindahan panas radiasi adalah suatu energi dari medan radiasi ditransportasikan melalui pancaran gelombang elektromagnetik (*photon*), dan asalnya dari energi dalam material yang memancar. Pada peristiwa radiasi tidak memerlukan media atau benda, justru radiasi akan lebih efektif dalam ruang hampa. Berbeda dengan perpindahan panas konduksi dan konveksi yang mutlak memerlukan media perpindahan.

Besarnya radiasi yang dipancarkan oleh permukaan suatu benda nyata (*real*)($q_{rad.g}$), (W), adalah:

$$q_{rad.g} = \epsilon \cdot \sigma \cdot T_s^4 \cdot A \dots \dots \dots (3)$$

Sedangkan, untuk benda hitam sempurna (*black body*), dengan nilai emisivitas ($\epsilon = 1$) memancarkan radiasi ($q_{rad.b}$), sebesar:

$$q_{rad.b} = \sigma \cdot T_s^4 \cdot A \dots \dots \dots (4)$$

Untuk laju pertukaran panas radiasi keseluruhan, antara permukaan dengan sekelilingnya (*surrounding*) dengan temperatur sekeliling (T_{sur}), adalah:

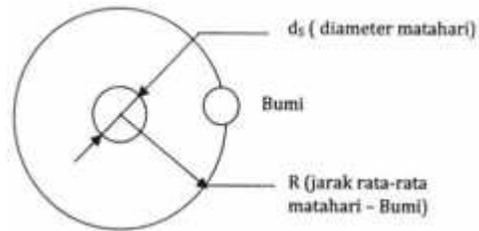
$$q_{rad} = \epsilon \cdot \sigma \cdot (T_s^4 - T_{sur}^4) \cdot A \dots \dots \dots (5)$$

Dimana :

- q_{rad} = laju pertukaran panas radiasi (W)
- ϵ = Nilai emisivitas suatu benda (0 - 1)
- σ = Konstanta proporsionalitas, disebut juga konstanta Stefan Boltzmann. Dengan nilai $5,67 \times 10^{-8} (W/m^2K^4)$
- A = Luas bidang permukaan (m^2)
- T_s = Temperatur benda (K)

2.4 Konstanta Matahari

Lapisan fotosfer memancarkan suatu *spectrum* radiasi yang terus menerus (*continous*), yang sekiranya cukup dapat dikatakan sebagai sebuah radiator sempurna pada temperatur $5762^\circ K$. Skema letak bumi terhadap matahari ditunjukkan pada gambar 3 berikut.

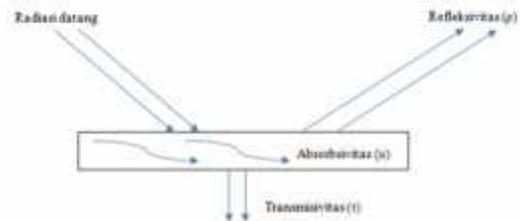


Gambar 3. Bola matahari

Sumber : (Arismunandar, Wiranto., 1995)

2.5 Radiasi Matahari

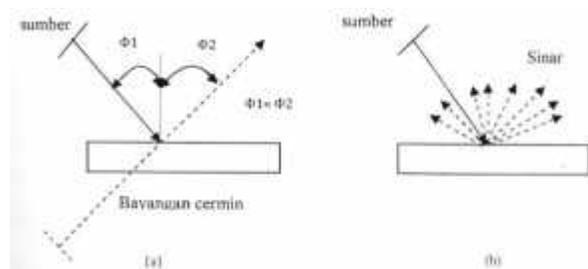
Energi radiasi yang menimpa permukaan suatu benda, maka sebagian energi radiasi tersebut akan dipantulkan (*reflection*), sebagian akan diserap (*absorbtion*), dan sebagian lagi akan diteruskan (*transmission*), seperti tergambar pada Gambar 4.



Gambar 4. Bagan pengaruh radiasi datang

Sumber : (Holman J.P., 1985)

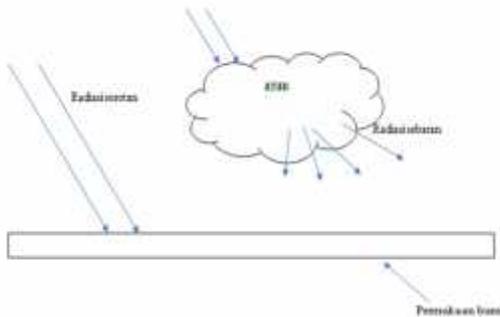
Jika berkas jatuh radiasi tersebar merata ke segala arah sesudah *refleksi*, maka dikatakan refleksi tersebut sebagai refleksi baur (*diffuse*). Kedua jenis refleksi tersebut tergambar seperti Gambar 5



Gambar 5. Fenomena refleksi spektakular (a) dan refleksi baur (b)

Sumber : (Holman J.P., 1985)

Intensitas radiasi matahari akan berkurang penyerapan dan pemantulan yang dilakukan oleh atmosfer, sebelum intensitas matahari mencapai permukaan bumi. Ozon pada lapisan atmosfer menyerap radiasi dengan panjang gelombang pendek (*ultraviolet*). Sedangkan, karbon dioksida dan uap air menyerap sebagian radiasi dengan panjang gelombang yang lebih panjang (*infrared*). Selain pengurangan radiasi bumi langsung (radiasi sorotan) oleh penyerapan tersebut, masih ada radiasi yang dipancarkan oleh molekul-molekul gas, debu, dan uap air di atmosfer. radiasi yang dipancarkan tersebut mencapai bumi sebagai radiasi sebaran, seperti yang ditunjukkan Gambar 6.



Gambar 6. Radiasi sorotan dan radiasi sebaran

Sumber : (Arismunandar, Wiranto., 1995)

Penjumlahan radiasi sorotan (*beam*) (J_b), dan radiasi sebaran (*diffuse*) (J_d), merupakan radiasi total (I) pada permukaan *horizontal* per jam. Hal ini dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$I = J_b + J_d \dots \dots \dots (6)$$

Nilai radiasi total (I) dapat juga dihitung dengan menggunakan bantuan alat solarmeter.

2.6 Faktor yang Mempengaruhi Penerimaan Radiasi Matahari di Bumi

Faktor-faktor yang mempengaruhi penerimaan radiasi matahari pada suatu permukaan di bumi antara lain:

- a. Posisi matahari
- b. Lokasi dan kemiringan permukaan
- c. Waktu matahari
- d. Keadaan cuaca

2.7 Kolektor Surya

2.7.1 Bagian-Bagian Kolektor Surya

Kolektor surya merupakan suatu alat yang menyerap dan mengumpulkan radiasi dari sinar matahari dan merubahnya menjadi energi panas yang bermanfaat. Adapun bagian-bagian dari kolektor surya yaitu:

a. Penutup transparan atau kaca bening

Penutup transparan merupakan lapisan teratas dari kolektor surya pada umumnya penutup transparan menggunakan kaca bening.

b. Pelat penyerap

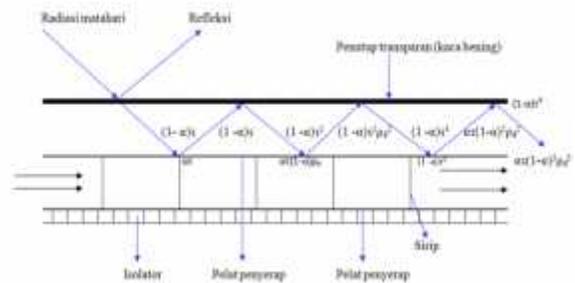
Pelat penyerap yang ideal memiliki permukaan dengan tingkat *absorbsivitas* yang tinggi, guna menyerap radiasi matahari sebanyak mungkin dan memiliki tingkat *emisivitas* serendah mungkin. Disamping itu, pelat penyerap diharapkan memiliki nilai *konduktivitas thermal* yang tinggi.

c. Isolasi

Agar menghindari kehilangan panas bagian luar kolektor surya di beri isolasi atau peredam panas yang dimana merupakan material yang bersifat konduktivitas thermal yang rendah.

2.7.2 Radiasi yang Diserap Kolektor Surya

Pada kolektor surya yang digunakan sebagai pemanas udara, radiasi matahari tidak akan sepenuhnya diserap oleh pelat penyerap. Sebagian radiasi akan dipantulkan (*direfleksikan*) menuju bagian dalam penutup transparan. Proses penyerapan radiasi ini diperlihatkan pada Gambar 7.



Gambar 7. Penyerapan radiasi matahari oleh kolektor

2.8 Kolektor Surya pelat datar dengan sirip berlubang

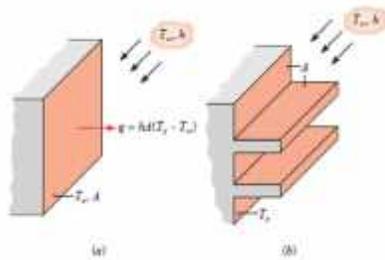
Rancangan kolektor surya pada penelitian ini akan menggunakan sirip berlubang berdiameter sama yang disusun secara sejajar agar performansi dari kolektor surya diketahui.

Korespondensi: Tel./Fax.: / -
E-mail:

2.8.1 Perpindahan Panas Dari Permukaan Yang Diperluas

Perpindahan panas dari permukaan yang diperluas bisa digunakan untuk benda padat yang mengalami perpindahan energi secara konduksi di dalam batasan benda tersebut dan terjadi pula perpindahan energi melalui konveksi atau radiasi antara benda tersebut dan sekelilingnya.

Untuk memperbesar laju perpindahan panas antara benda padat dengan fluida dilakukan dengan memperluas permukaan menggunakan fin atau sirip yang dimana konveksi terjadi. Ini dapat dilakukan dengan penambahan sirip yang meluas dari permukaan media padat ke dalam fluida yang berada di sekelilingnya seperti gambar 8.



Gambar 8. Kegunaan sirip untuk memperbesar perpindahan panas media padat
Sumber: (Incropera dan De Witt,)

3. Metode penelitian

3.1 Alat dan Bahan

Adapun berbagai alat dan bahan yang akan diperlukan dalam pengujian dan pembuatan kolektor surya, adalah sebagai berikut:

Alat yang digunakan pada saat pengujian kolektor surya :

- Thermometer**
Alat ini digunakan untuk mengukur temperatur lingkungan tempat pengujian kolektor surya.
- Thermocouple**
Diletakkan pada beberapa titik pengukuran. Dimana alat ini difungsikan untuk mengukur temperatur pada alat penyerap, temperatur udara yang keluar masuk kolektor, dan temperatur pada kaca penutup.
- Solarymeter**
Alat ini digunakan untuk mengukur intensitas radiasi sinar matahari.
- Stopwatch**
Digunakan sebagai alat bantu untuk pengingat waktu selama proses pengujian.
- Inclined manometer**

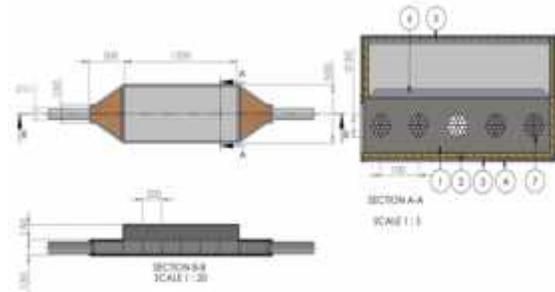
Digunakan untuk mengukur tekanan udara yang masuk ke kolektor surya.

- Blower**
Untuk mengalirkan udara pada kolektor.

Bahan yang digunakan dalam pembuatan kolektor surya :

- Pelat besi eser dengan ketebalan 1,2 mm**
Digunakan untuk membuat pelat penyerap, dinding kolektor dan sirip berlubang.
- Kaca bening dengan ketebalan 3 mm**
Digunakan untuk cover kolektor.
- stearofoam dengan ketebalan 10 mm**
Digunakan sebagai isolasi untuk menghindari kehilangan panas kelingkingan.
- Triplek dengan ketebalan 3 mm**
Digunakan sebagai isolasi untuk menghindari kehilangan panas ke lingkungan.
- Besi hollow dengan ukuran 20 mm×20 mm**
Digunakan sebagai kerangka dari kolektor surya.
- Pipa PVC dengan diameter 2"**
Digunakan sebagai saluran masuk fluida.

3.2 Spesifikasi Kolektor Surya



Gambar 9. Dimensi kolektor surya pelat datar aliaran *impinging jets*

Keterangan gambar dan spesifikasi :

- Sirip lubang 5 dengan ketebalan pelat besi eser 1,2 mm
- Pelat penyerap dengan ketebalan pelat besi eser 1,2 mm
- Stearofoam dengan ketebalan 10 mm
- Triplex dengan ketebalan 3 mm
- Kaca bening dengan ketebalan 3 mm
- Pelat penyerap dengan ketebalan pelat besi eser 1,2 mm
- Honeycomb

Bagian-bagian isolasi kolektor :

- Stearfoam ketebalan 10 mm
- Triplex ketebalan 3 mm

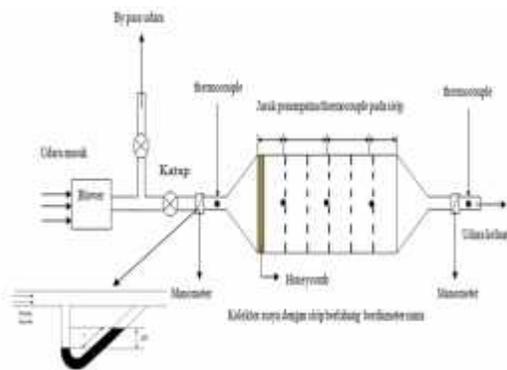
Keterangan dimensi kolektor surya :

- Panjang kolektor 1200 mm

- Lebar kolektor 500 mm
- Jarak cover ke pelat penyerap 130 mm
- Jarak pelat penyerap ke pelat bawah 130 mm
- Jarak antar sirip 200 mm
- Diameter lubang sirip 50 mm
- Jarak antar sumbu lubang sirip 100 mm
- Lebar tempat pipa 150 mm
- Jarak *Honeycomb* ke tempat pipa 300 mm
- Diameter pipa 2"

3.3 Instalasi Pengambilan Data

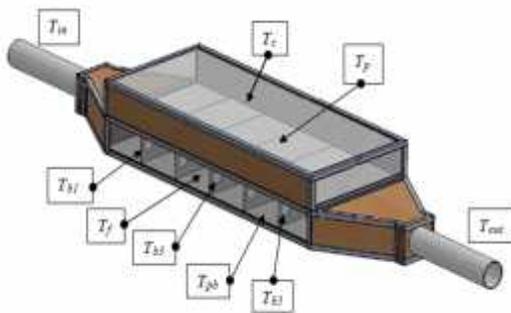
Untuk mendapatkan hasil data dari kolektor surya pengujian dilakukan dengan merangkai komponen-komponen yang akan digunakan dan posisi kolektor akan diletakkan secara mendatar ditempat yang datar agar terkena sinar matahari. Agar aliran udara dapat masuk kedalam kolektor akan menggunakan batuan blower. Pengujian akan dilakukan dengan pengambilan data pada kolektor surya dengan lima sirip berlubang berdiameter sama yang disusun sejajar. Untuk pengujian kolektor tersebut pada gambar 10.



Gambar 10. Rancangan pengujian kolektor surya dengan sirip berlubang

3.4 Penempatan Alat Ukur

Alat ukur thermocouple akan tempatkan dimasing-masing kolektor di beberapa titik yaitu pada pelat penyerap, kaca bening, masing-masing sirip serta pada aliran udara masuk dan keluar kolektor.



Gambar 11. Penempatan alat ukur

4. Hasil dan Pembahasan

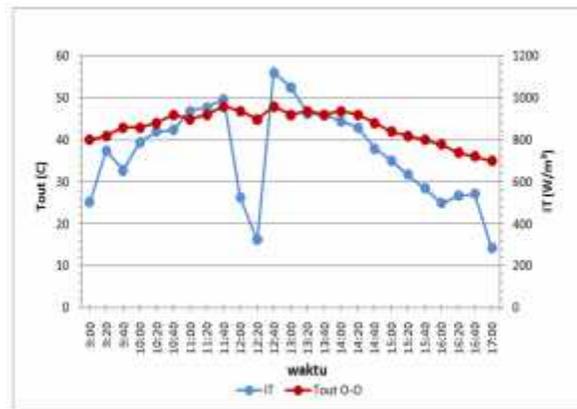
4.1 Analisa Performansi Kolektor

Untuk melakukan analisa maka data-data hasil pengujian dan perhitungan digambarkan dalam bentuk grafik. Grafik-grafik yang digambarkan tersebut adalah grafik performansi kolektor surya pelat datar yang terdiri dari grafik hubungan T_{out} , I_T terhadap waktu pada kolektor, grafik energi berguna aktual kolektor dan grafik efisiensi aktual kolektor.

4.2 Data Hasil Penelitian

Kolektor surya dengan lima sirip berdiameter sama yang disusun secara sejajar pada jam 12:40 Wita dengan Intensitas radiasi matahari terukur dari solar powermeter (I_T) sebesar 1.122 W/m^2 .

4.2.1 Temperatur Keluar (T_{out}) Kolektor Pelat Datar



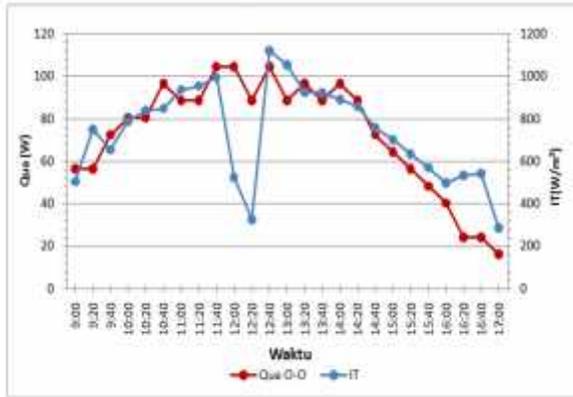
Gambar 12. Grafik perbandingan temperatur keluar (T_{out}) kolektor terhadap waktu

Pada Gambar 12 menunjukkan intensitas radiasi matahari yang tidak konstan, yang dipengaruhi oleh faktor cuaca menyebabkan temperatur keluar kolektor menjadi naik dan turun. Pada pukul 9:00 sampai pukul 11:40 intensitas radiasi matahari naik, pukul 12:00 sampai pukul 12:20 intensitas radiasi matahari turun, ini dikarenakan faktor cuaca berawan, pukul 12:40 sampai pukul 17:00 intensitas radiasi matahari kembali naik. Pada gambar 4.1 juga dapat dijelaskan bahwa intensitas radiasi matahari yang diserap kolektor mempengaruhi temperatur keluar yang dihasilkan kolektor, dimana semakin besar intensitas radiasi matahari temperatur keluar kolektor yang dihasilkan akan semakin besar, ini dikarenakan panas radiasi matahari yang diserap oleh pelat penyerap dan sirip dalam kolektor sangat besar, sehingga distribusi panas yang diserap oleh sirip secara konduksi juga akan besar, udara yang mengalir melewati sirip akan menyerap panas yang besar pula, dan menyebabkan temperatur keluar kolektor akan semakin tinggi.

Gambar 14. Grafik perbandingan efisiensi (η_a) kolektor terhadap waktu

Pada Gambar 14 menunjukkan efisiensi yang dihasilkan kolektor surya. Pada pukul 9:00 sampai pukul 11:40 intensitas radiasi matahari naik, pukul 12:00 sampai pukul 12:20 intensitas radiasi matahari turun, ini dikarenakan faktor cuaca berawan, pukul 12:40 sampai pukul 17:00 intensitas radiasi matahari kembali naik. Terlihat dari semakin tinggi intensitas radiasi matahari yang diserap kolektor akan menghasilkan temperatur keluar kolektor yang lebih tinggi, dan akan menyebabkan energi berguna yang dihasilkan kolektor akan lebih besar, sehingga kolektor juga akan menghasilkan efisiensi yang lebih tinggi.

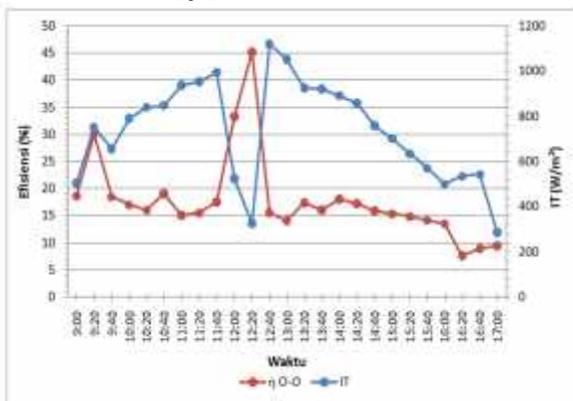
4.2.2 Energi Berguna ($Q_{u,a}$) Kolektor Pelat Datar



Gambar 13. Grafik perbandingan energi berguna ($Q_{u,a}$) kolektor terhadap waktu

Dari Gambar 13 terlihat bahwa energi berguna yang dihasilkan dipengaruhi oleh intensitas radiasi matahari. Pada pukul 9:00 sampai pukul 11:40 intensitas radiasi matahari naik, pukul 12:00 sampai pukul 12:20 intensitas radiasi matahari turun, ini dikarenakan faktor cuaca berawan, pukul 12:40 sampai pukul 17:00 intensitas radiasi matahari kembali naik. Dimana besarnya energi berguna mengikuti besarnya intensitas radiasi matahari. Hal ini disebabkan temperatur udara masuk yang lebih rendah dari pada temperatur pelat penyerap dan sirip dalam kolektor, sehingga udara yang mengalir akan menyerap panas pada sirip dan pelat penyerap di dalam kolektor yang menyebabkan temperatur udara keluar kolektor akan lebih tinggi, dan energi berguna yang dihasilkan kolektor juga akan lebih besar, ini merupakan fungsi dari laju aliran massa kolektor, koefisien panas jenis udara, dan temperatur keluar kolektor.

4.2.3 Efisiensi (η_a) Kolektor Pelat Datar



Korespondensi: Tel./Fax.: / -
E-mail:

5. Kesimpulan

Dari hasil pengujian yang telah dilaksanakan dengan pengamatan dan pencatatan data terhadap kolektor surya pelat datar dengan lima sirip berdiameter sama yang disusun secara sejajar, dimana performansi kolektor surya paling besar didapat pada intensitas radiasi matahari $1.122 W/m^2$ dengan temperatur keluar kolektor $321 K$, energi berguna yang dihasilkan $104,786 W$, dan efisiensi sebesar $15,565 \%$.

Daftar pustaka

- [1] Gigih Predana Putra, I Nyoman, (2010),” *Analisis Performansi Kolektor Surya Pelat Datar Dengan Variasi Sirip Berlubang*”, Skripsi Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Udayana, Bali.
- [2] RanggaIswara, I.D.G, (2007),” *Pengaruh Penempatan Sirip Berbentuk Segitiga Yang Dipasang Secara Aligned Terhadap Performa Kolektor Surya Pelat Datar*”, Skripsi Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Udayana, Bali.
- [3] Subadiyasa, I Kadek, (2009),” *Pengaruh Penempatan Sirip Berbentuk Segitiga Pada Kolektor Surya Pelat Datar Yang Dipasang Secara Staggered*”, Skripsi Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Udayana, Bali.
- [4] Incropera and Dewitt (1996), *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*, John Wily & Sons, Inc, New York

- [5] Arismunandar, Wiranto, (1995), *Teknologi Rekayasa Surya*, PT Pradnya Paramita, Jakarta.
- [6] Holman, J. P., alih bahasa oleh Ir. E. Jasjfi M.Sc, (1985), *Perpindahan Kalor*, Erlangga, Jakarta.