

Analisa Performasi Kolektor Surya Terkonsentrasi Dengan Variasi Jumlah Pipa Absorber Berbentuk Spiral

I Gusti Ngurah Agung Aryadinata, Made Sucipta dan Ketut Astawa
Jurusan Teknik Mesin Non Reguler Universitas Udayana, Kampus Sudirman Bali

Abstrak

Prinsip kerja dari kolektor surya terkonsentrasi adalah sinar matahari yang menimpa konsentrator nantinya akan dikonsentrasikan menuju pipa absorber sehingga panas tersebut akan diteruskan ke fluida yang akan dipanaskan. Untuk mendapatkan panas yang kontiniu dapat dilakukan dengan menggunakan penyimpan panas. Salah satu media penyimpan panas adalah pasir pantai halus berwarna hitam. Sehingga panas yang dipantulkan oleh konsentrator akan diserap terlebih dahulu oleh pipa receiver yang didalamnya terdapat pasir dan pipa absorber. Dengan mengatur susunan pipa absorber maka panas yang diserap oleh pipa receiver akan diteruskan ke pasir dan selanjutnya diserap oleh pipa absorber untuk meningkatkan penyerapan panas dapat dilakukan dengan menambah jumlah pipa absorber. Dilakukan suatu pengujian untuk mengetahui performasi kolektor surya terkonsentrasi dengan variasi jumlah pipa absorber berbentuk spiral. Dalam penelitian ini variabel bebas yang diteliti atau diuji adalah pengaruh penggunaan jumlah pipa absorber spiral yang bervariasi jumlahnya yaitu 2, 3 dan 4. Dari hasil pengujian terlihat bahwa Semakin banyak jumlah pipa absorber maka energi berguna serta efisiensi yang dihasilkan kolektor surya semakin besar. Secara keseluruhan dari pengujian variasi jumlah pipa terlihat bahwa kolektor surya dengan jumlah pipa 4 adalah kolektor surya dengan performasi terbaik baik dari sisi energi berguna yang dihasilkan sebesar 80.72 J/s maupun efisiensi yang dihasilkan sebesar 0.1060.

Kata Kunci: Kolektor surya terkonsentrasi, pipa absorber spiral, performasi kolektor.

Abstract

The working principle of a concentrated solar collector is the sunlight that afflicts the concentrator will be concentrated towards the absorber pipe so that the heat will be forwarded to the fluid to be heated. To obtain continuous heat that can be done by using heat storage. One of the heat storage medium is a fine black sand beaches. So that the heat reflected by the concentrator will be absorbed first by the receiver pipe in which there are sand and absorber pipes. By organizing the absorber pipe, the heat absorbed by the receiver pipe will be forwarded to the sand and then absorbed by the absorber pipe to improve the heat absorption can be done by increasing the number of absorber pipes. Conducted a test to determine performasi concentrated solar collectors with variations in the number of spiral-shaped absorber pipes. In this study the independent variables studied or tested was the effect of the amount of the absorber pipe spiral which vary in number, namely 2, 3 and 4. From the test results shown that the higher the number of the absorber pipe as well as the useful energy produced by the solar collector efficiency increases. Overall the amount of testing variation seen that the solar collector pipes with pipe number 4 is the solar collector with the best performasi both in terms of useful energy produced amounted to 80.72 J / s and efficiencies generated by 0.1060.

Keywords: Concentrated solar collectors, absorber pipe spiral, performasi collectors

1. Pendahuluan

Kolektor surya merupakan suatu peralatan yang digunakan untuk menyerap energi surya menjadi energi thermal dan mentransfer energi tersebut ke fluida kerja untuk digunakan secara langsung atau disimpan terlebih dahulu pada suatu unit penyimpan panas. Dalam aplikasi kolektor surya banyak digunakan sebagai alat pemanas air pada rumah – rumah.

Secara umum bila ditinjau dari jumlah panas yang diperoleh, kolektor surya dapat diklasifikasi menjadi dua jenis yaitu: kolektor surya pelat datar dan kolektor surya terkonsentrasi.

Prinsip kerja dari kolektor surya terkonsentrasi adalah sinar matahari yang menimpa permukaan cermin (konsentrator) nantinya akan dipantulkan (dikonsentrasikan) menuju pipa absorber sehingga panas tersebut akan diteruskan ke fluida yang akan dipanaskan. Untuk mendapatkan panas yang kontiniu dapat dilakukan dengan menggunakan penyimpan

panas. Salah satu media penyimpan panas adalah pasir pantai halus berwarna hitam. Sehingga panas yang dipantulkan oleh konsentrator akan diserap terlebih dahulu oleh pipa receiver yang didalamnya terdapat pasir dan pipa absorber. Dengan mengatur susunan pipa absorber maka panas yang diserap oleh pipa receiver akan diteruskan ke pasir dan selanjutnya diserap oleh pipa absorber untuk meningkatkan penyerapan panas dapat dilakukan dengan menambah jumlah pipa absorber.

Berdasarkan uraian diatas maka akan dilakukan pengujian performasi kolektor surya terkonsentrasi dengan variasi jumlah pipa absorber berbentuk spiral. Adapun batasan masalah meliputi :

1. Tidak terjadi perubahan fase pada fluida.
2. Sifat fisik air yang mengalir diasumsikan konstan di dalam pipa fluida.
3. Efek bayangan yang ditimbulkan oleh absorber diabaikan.
4. Kondisi lingkungan diasumsikan sama.

2. Dasar Teori

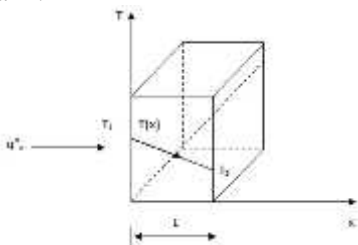
2.1 Perpindahan Panas

Perpindahan panas atau *heat transfer* adalah ilmu yang meramalkan perpindahan energi yang terjadi karena adanya perbedaan temperatur, dimana energi yang berpindah tersebut dinamakan kalor atau panas (*heat*). Perpindahan panas dapat terjadi melalui beberapa mekanisme, yaitu perpindahan panas secara konduksi, konveksi, dan radiasi.

2.1.1 Perpindahan Panas Konduksi

Perpindahan panas konduksi merupakan perpindahan panas yang terjadi pada suatu media padat atau pada media fluida yang diam akibat adanya perbedaan temperatur antara permukaan yang satu dengan permukaan yang lain pada media tersebut.

Untuk kondisi perpindahan panas keadaan *steady* melalui dinding datar satu dimensi seperti ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Perpindahan panas konduksi pada dinding datar.

Persamaan laju konduksi dikenal dengan Hukum Fourier tentang Konduksi (*Fourier Law of Heat Conduction*), yang persamaannya matematikanya sebagai berikut:

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

dimana :

- q_{kond} = Laju perpindahan panas konduksi (W)
- k = Konduktivitas termal bahan (W/m.K)
- A = Luas penampang tegak lurus terhadap arah aliran panas (m^2)

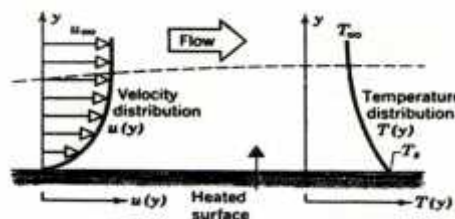
$\frac{dT}{dx}$ = Gradien temperatur pada penampang tersebut (K/m)

Tanda negatif (-) diisi agar memenuhi hukum kedua termodinamika, yaitu bahwa panas mengalir dari media yang bertemperatur lebih tinggi menuju media yang temperaturnya lebih rendah. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1 diatas, bahwa kalor berpindah dari T_1 ke T_2 karena T_2 temperaturnya lebih rendah dari T_1 . Jika dilihat dari persamaan 2.6, dT adalah selisih antara T_2 dan T_1 sehingga hasil yang didapat menjadi minus. Agar memperoleh hasil yang positif pada hasil akhir perhitungan oleh karena

itu ditambahkan tanda minus, sehingga tanda positif tersebut menunjukkan adanya kalor yang berpindah dari temperatur tinggi ke temperatur lebih rendah.

2.1.2 Perpindahan Panas konveksi

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



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

Laju perpindahan panas konveksi adalah merupakan hukum Newton tentang pendinginan (*Newton's Law of Cooling*) yaitu:

$$q_{konv} = h \cdot A_s \cdot (T_s - T_{\infty}) \quad (2)$$

dimana :

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

Menurut aliran fluidanya, perpindahan panas konveksi dapat diklasifikasikan menjadi:

- a. Konveksi paksa (*forced convection*), terjadi bila aliran fluidanya disebabkan oleh gaya luar, seperti: blower, pompa, atau kipas angin.
- b. Konveksi alamiah (*natural convection*), terjadi bila aliran fluidanya disebabkan oleh efek gaya apungnya (*buoyancy forced effect*). Pada fluida, temperatur berbanding terbalik/berlawanan dengan massa jenis (*density*).

2.1.3 Perpindahan Panas Radiasi

Energi dari medan radiasi ditransportasikan oleh pancaran atau gelombang elektromagnetik (photon), dan asalnya dari energi dalam material yang memancar. Transportasi energi pada peristiwa radiasi tidak harus membutuhkan media, 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 riil (nyata), $q_{rad,g}$ (W), adalah :

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

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

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

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

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

dimana :

- q_{rad} = Laju pertukaran panas radiasi (W)
- ϵ = Emisivitas ($0 \leq \epsilon \leq 1$)
- σ = Konstanta proporsionalitas dan disebut konstanta Stefan-boltzmann yang nilainya $5,67 \times 10^{-8}$ (W/m²K⁴)
- A = Luas bidang permukaan (m²)
- T_s = Temperatur benda (K)

Dalam hal ini semua analisis tentang temperatur dalam pertukaran panas radiasi adalah dalam temperatur absolut (mutlak) yaitu *Kelvin* (K).

2.2 Pengumpul Surya Terkonsentrasi

Konversi energi matahari menjadi panas (pada kolektor surya plat datar) menghasilkan temperatur relatif rendah karena fluks energinya rendah. Untuk menghasilkan panas dengan temperatur tinggi maka fluks energi matahari perlu ditingkatkan dengan metode mengkonsentrasikannya, yaitu memantulkan radiasi matahari kepermukaan absorber yang lebih sempit. Kolektor terkonsentrasi mempunyai dua komponen utama, yaitu:

- 1). Konsentrator, yaitu permukaan yang mengkonsentrasikan radiasi matahari.
- 2). Receiver, yaitu permukaan yang menerima radiasi dari konsentrator dan mengkonversikannya menjadi energi panas. Receiver terdiri dari absorber, kaca penutup dan isolasi.

2.2.1 Energi Berguna Kolektor Alat Pemanas Air Tenaga Surya

Untuk perhitungan energi yang diserap atau energi yang berguna untuk kolektor alat pemanas air tenaga surya dapat digunakan persamaan : (Duffie et.al, 1980)

$$Q_u = m \cdot c_p \cdot (T_o - T_i) \quad (6)$$

dimana :

- Q_u = panas yang berguna (J/s)
- m = laju aliran fluida (kg/s)
- c_p = kapasitas panas jenis fluida (J/(kg.°C))
- T_o = temperatur air keluar (°C)
- T_i = temperatur air masuk (°C)

2.2.2 Efisiensi Kolektor

Efisiensi kolektor merupakan perbandingan panas yang diserap fluida dan intensitas matahari yang mengenai kolektor. Performansi dari kolektor dapat dinyatakan dengan efisiensinya. Ada dua cara atau prosedur yang dipakai untuk mengidentifikasi efisiensi kolektor yaitu :

- 1). *Instantaneous procedure* yaitu pengukuran laju aliran massa dari fluida, beda temperatur fluida masuk dengan keluar, radiasi matahari (*insolation*) dilakukan dalam keadaan steady state. Efisiensi ini di tentukan oleh persamaan berikut : (Duffie et.al, 1980).

$$y = \frac{Q_u}{A_c \cdot I_T} = \frac{m \cdot c_p \cdot (T_o - T_i)}{A_c \cdot I_T} \quad (7)$$

dimana :

- y = Efisiensi kolektor
- A_c = Luas permukaan kolektor (m²)
- L = Panjang kolektor palung (m)
- I_T = Total energi surya yang datang pada permukaan kolektor (W/m²)
- m = Laju aliran massa (kg/s)
- c_p = Kapasitas panas jenis fluida (J/(kg.°C))

- 2). *Calorimetric procedure* yaitu : pengukuran efisiensi pada sistem tertutup dimana perubahan temperatur merupakan fungsi waktu dan berhubungan dengan sudut datang sinar matahari. Perhitungan efisiensinya adalah : (Duffie et.al, 1980).

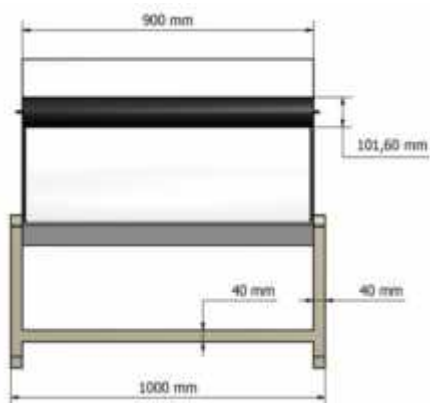
$$y = \frac{Q_u}{A_c \cdot I_T} \quad (8)$$

dimana :

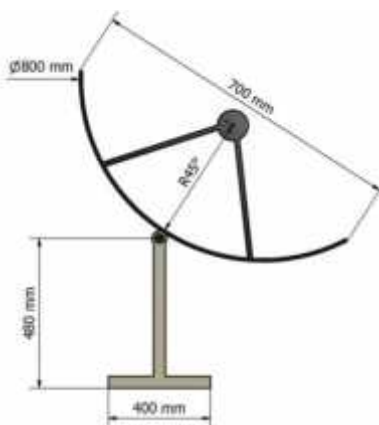
- y = Efisiensi kolektor
- A_c = Luas permukaan kolektor (m²)
- L = Panjang kolektor palung (m)
- I_T = Total energi surya yang datang pada permukaan kolektor (W/m²)

3. Metode Penelitian

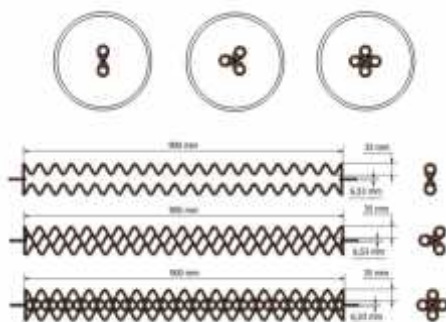
Skema kolektor surya terkonsentrasi menggunakan jumlah pipa absorber spiral yang akan divariasikan jumlahnya yaitu 2, 3 dan 4 dapat dilihat pada gambar 3, 4 dan 5.



Gambar 3. Kolektor surya terkonsentrasi tampak depan.



Gambar 4. Kolektor surya terkonsentrasi tampak samping.



Gambar 5. Pipa absorber.

Konsentrator terbuat dari plat aluminium dengan panjang 0.9 m dan lebar 0.8 m yang akan dilengkungkan sehingga mempunyai jari-jari R dan di atasnya akan ditemeli aluminium foil. Receiver berfungsi sebagai penyerap panas yang dipantulkan dari konsentrator. Receiver dibuat dari pelat berbentuk silinder dengan tebal 1,8 mm yang akan dicat hitam dop. Di dalam receiver terdapat pasir hitam (pasir pantai halus) yang berfungsi menyimpan panas yang diserap dari dinding receiver. Di dalam receiver juga terdapat pipa tembaga dengan diameter $\frac{1}{4}$ inci (0.00635 m) dan tebal 0.00076 m yang dialiri air didalamnya. Pipa tembaga inilah yang nantinya akan divariasikan jumlahnya yaitu 2, 3 dan 4.

3.1. Bahan-bahan

- a. Kaki penyangga alat:
 - Pipa kotak digunakan sebagai kerangka kaki penyangga alat.
- b. Konsentrator:
 - Plat aluminium dengan panjang 0.9 m dan lebar 0.8 m sebagai rangka konsentrator.
 - Kaca berfungsi sebagai media untuk memantulkan sinar matahari ke receiver.
- c. Receiver:
 - Pelat baja tebal 1,8 mm digunakan sebagai receiver yang bertujuan untuk menyerap panas dari sinar matahari langsung maupun panas pantulan sinar matahari dari konsentrator. Receiver yang dipakai adalah berbentuk silinder dengan diameter 101.60 mm dan panjang 900 mm.
 - Pipa tembaga dengan diameter $\frac{1}{4}$ inci (0.00635 m) dan tebal 0.00076m digunakan sebagai absorber yang berfungsi sebagai tempat mengalirnya air yang akan dipanaskan.
 - Pasir hitam (pasir pantai halus) digunakan sebagai media penyimpanan panas yang akan memanaskan air yang mengalir di dalam absorber.

3.2. Alat Pengukuran

Adapun alat-alat pengukuran yang digunakan dalam pengujian alat pemanas air tenaga surya tersebut, yaitu:

- a. Termokopel

Termokopel berfungsi untuk mengukur temperatur pelat penyerap, temperatur fluida yang keluar masuk kolektor, dan temperatur absorber.
- b. Multimeter

Multimeter berfungsi untuk membaca besarnya temperatur yang ditunjukkan termokopel.
- c. Stopwatch

Berfungsi untuk alat pencatat waktu selama pengujian.
- d. Gelas ukur/*flow meter*

Digunakan untuk menentukan laju aliran volume fluida yang keluar dari kolektor surya.
- e. Thermostat

Berfungsi untuk mengatur temperatur air masuk ke kolektor surya.

3.3. Langkah-langkah Pengujian

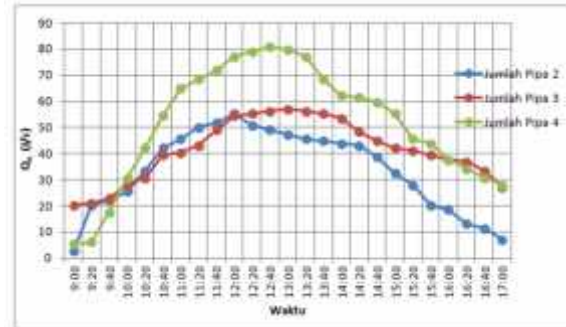
Dalam pengujian yang dilakukan pada pemanas air tenaga surya, panel kolektor surya dipasang ke arah utara-selatan. Pengujian masing-masing alat dilakukan sebanyak 3 kali dengan variasi jumlah pipa tembaga spiral. Adapun langkah-langkah yang akan dilakukan pada saat pengujian adalah :

1. Penelitian dilakukan antara jam 09.00 sampai 17.00 wita
2. Isi tangki penyimpan air sampai level batas tinggi air dan biarkan air tetap mengalir sampai ada air yang terbangun melalui pipa pembuangan.
3. Tempatkan alat ukur pada tempat yang telah ditentukan.
4. Atur katup atau keran untuk memperoleh laju aliran volume 0,0021 l/s dan laju aliran volume dipertahankan konstan.
5. Langkah-langkah pengambilan data :
 - Pertama pengambilan data dengan mencatat tanggal pengambilan data dan laju aliran volume fluida (v).
 - Pengambilan data kedua dilakukan setiap 20 menit dengan mengukur :
 - intensitas radiasi matahari, I_T
 - temperatur pasir hitam (pasir pantai), T_P
 - temperatur lingkungan, T_a
 - temperatur fluida masuk, T_{in}
 - temperatur fluida keluar, T_{out}
 - temperatur receiver bagian bawah, T_{Rb}
 - temperatur receiver bagian atas, T_{Ra}
 - temperatur konzentor, T_K
6. Ulangi langkah 1 sampai 6 dengan 3 pipa tembaga spiral.
7. Ulangi langkah 1 sampai 6 dengan 4 pipa tembaga spiral.

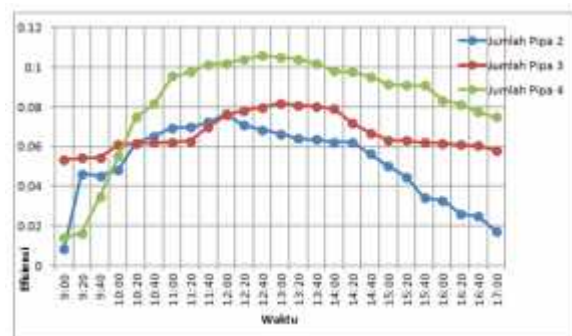
13. Pipa absorber.
14. Temperaturpasir (T_{pasir}).
15. Receiver.
16. Temperatur air keluar (T_{out}).
17. Penampungan air keluar.

4. Hasil dan Pembahasan

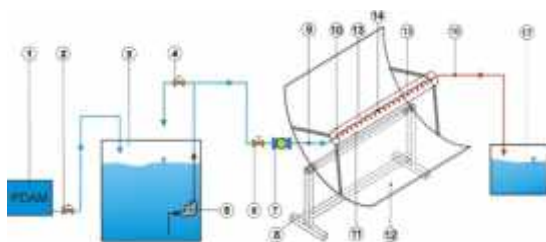
4.1. Performasi kolektor surya dinyatakan dalam grafik dibawah:



Gambar 7. Grafik Perbandingan Waktu- Q_u Dengan Variasi Jumlah Pipa



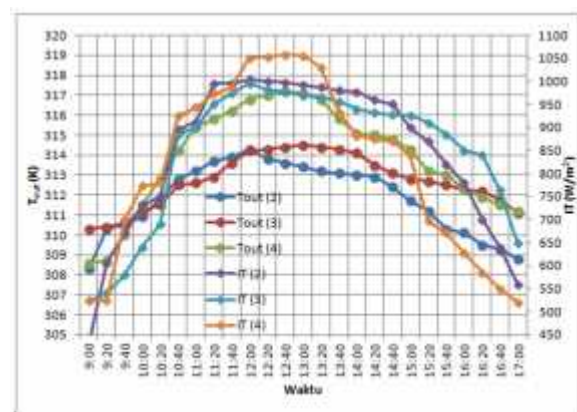
Gambar 8. Grafik Perbandingan Waktu-Efisiensi Dengan Variasi Jumlah Pipa



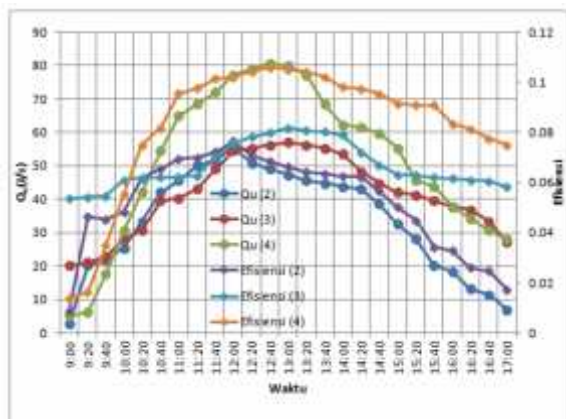
Gambar 6. Titik Pengukuran Alat Uji

Keterangan gambar :

1. Sumber air PDAM.
2. Katup.
3. Bak penyimpanan air.
4. Katup.
5. Pompa air .
6. Katup.
7. Flow meter.
8. Kaki penyangga.
9. Temperatur air masuk (T_{in}).
10. Temperatur receiver atas (T_{Ra}).
11. Temperatur receiver bawah (T_{Rb}).
12. Temperatur reflector (T_{reflk}).



Gambar 9. Grafik Perbandingan Antara Waktu- T_{out} dan Waktu- T_{in} (Semua Variasi Jumlah Pipa)



Gambar 10. Grafik Perbandingan Antara Waktu- Q_u dan Waktu- l_y (Semua Variasi Jumlah Pipa)

4.5 Pembahasan

Kenaikan dan penurunan temperatur air keluar hampir dapat mengikuti kenaikan dan penurunan dari intensitas matahari. Pada waktu tertentu, penurunan intensitas terjadi sangat drastis akan tetapi tidak di respon secara cepat oleh penurunan temperatur air keluar receiver, ini disebabkan oleh panas yang disimpan pasir pantai berwarna hitam masih dapat memanaskan air yang mengalir. Kenaikan intensitas secara tiba-tiba tidak akan menaikkan temperatur keluar air dari receiver dikarenakan panas dari matahari diserap terlebih dahulu oleh pasir pantai. Pada sekitar pukul 15.00 sampai dengan pukul 17.00, temperatur air keluar receiver tidak terjadi penurunan secara drastis, ini disebabkan adanya penyimpanan panas yang masih dapat memanaskan air didalam receiver yaitu pasir pantai. Kenaikan dan penurunan temperatur air keluar dari 3 variasi jumlah pipa disebabkan oleh pembagian volume alir air pada masing-masing pipa absorber dalam receiver dimana volume air yang masuk sebelum pipa absorber sama besar dengan volume air yang keluar dari pipa absorber. Nilai *energi berguna* yang dihasilkan dipengaruhi oleh besarnya temperatur keluar air (T_{out}) dimana semakin besar T_{out} maka energi berguna yang dihasilkan semakin besar sedangkan nilai efisiensi yang dihasilkan dipengaruhi oleh besarnya energi berguna dan juga intensitas matahari.

5. Kesimpulan

Dari hasil pengujian yang dilakukan mengenai Performasi Kolektor Surya Terkonsentrasi Dengan Variasi Jumlah Pipa Absorber Berbentuk Spiral maka dapat disimpulkan bahwa:

- 1). Semakin banyak jumlah pipa absorber maka energi berguna serta efisiensi yang dihasilkan kolektor surya semakin besar.
- 2). Secara keseluruhan dari pengujian variasi jumlah pipa terlihat bahwa kolektor surya dengan jumlah pipa 4 adalah kolektor surya dengan performasi terbaik baik dari sisi *energi berguna* yang dihasilkan sebesar 80.72 J/s

maupun efisiensi yang dihasilkan sebesar 0.1060. Performasi terbaik ini didapatkan pada pukul 12.40 kondisi cuaca cerah dengan besar intensitas matahari sebesar 1058 W/m² dan sudut kemiringan kolektor adalah 90⁰.

Daftar Pustaka

- [1] Arya Warsita, I Nyoman., (2011), *Analisis Performansi Kolektor Surya Jenis Tubular dengan Menggunakan Pasir Sebagai Media Penyimpan Panas*, Skripsi Program Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Udayana, Bali.
- [2] Dwi Saputra I Made, (2010) *Analisa Performansi Kolektor Surya Terkonsentrasi Dengan Variasi Pipa Absorber Berbentuk Spiral Menggunakan Pasir Sebagai Media Penyimpan Panas*, Skripsi Program Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Udayana, Bali.
- [3] Hendra Saputra I Wayan, (2014) *Pengaruh Media Penyimpan Panas Minyak Kelapa Terhadap Unjuk Kerja Kolektor Surya Pelat Datar Dengan Variasi Pipa Berbentuk Spiral Untuk Pemanas Udara*, Skripsi Program Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Udayana, Bali.
- [4] Incropera and DeWitt, (1996), *Fundamentals of Heat and Mass transfer*, Jhon Wiley & Sons, Inc, New York.
- [5] Jansen, T. J. alih bahasa oleh Prof. Wirantoarismunandar, (1995), *Teknologi Rekayasa Surya*, PT. Pradnya Paramita, Jakarta.
- [6] Jhon A. Duffie and William A. Beckman, (1980), *Solar Engineering Of Thermal Energy Sistem*, McGraw-Hill Book Company, New York.