

Studi Eksperimental Kolektor Surya Terkonsentrasi Menggunakan Media Penyimpan Panas Pasir Dengan Variasi Kerenggangan Pipa Absorber Berbentuk Spiral

I Putu Agus Putra Swastika, Made Sucipta, Ketut Astawa
Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali

Abstrak

Energi dari sinar matahari dapat dimanfaatkan menggunakan kolektor surya, dimana radiasi panas dari matahari dikumpulkan dan diubah menjadi energi termal. Untuk mendapatkan performadari kolektor surya terkonsentrasi adalah sinar matahari yang menimpa konsentrator nantinya akan diteruskan menuju pipa absorber sehingga panas tersebut akan diteruskan ke fluida yang akan dipanaskan. Untuk mendapatkan panas yang kontiniu dapat dilakukan dengan menggunakan media penyimpanan panas salah satunya adalah pasir pantai berwarna hitam. Sehingga panas yang dipantulkan oleh konsentrator akan diserap terlebih dahulu oleh pipa receiver yang didalamnya terdapat pasir dan pipa absorber yang berbentuk spiral. Dengan menempatkan pipa absorber di dalam pipa receiver maka panas yang diserap oleh pipa receiver akan diteruskan ke pasir dan selanjutnya diserap oleh pipa absorber untuk meningkatkan penyerapan panas.

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah dengan menempatkan pasir sebagai media penyimpan panas. Di dalam pasir terdapat pipa Absorber berbentuk spiral untuk aliran air pada sebuah kolektor surya terkonsentrasi. Dalam pengujian ini variable bebas yang diteliti atau diuji adalah pengaruh kerenggangan pipa absorber berbentuk spiral yang divariasikan jarak kerenggannya yaitu jarak kerenggangan 3, 5, dan 7 cm.

Hasil pengujian kolektor surya terkonsentrasi secara keseluruhan terlihat bahwa T_{out} , Q_u , dan efisiensi dengan pipa absorber kerenggangan 5 cm memperoleh performansi yang paling baik dengan temperatur air keluar 42 °C, energi berguna 61.36 Watt, dan efisiensi 17.17 % pada pukul 12.00 WITA dengan intensitas radiasi matahari 1120 W/m^2 .

Kata Kunci : kolektor surya terkonsentrasi, pipa absorber berbentuk spiral, unjuk kerja kolektor

Abstract

Energy from the sun can be harnessed using solar collector, which heat radiation from the sun is collected and converted into thermal energy. To get the performance of a concentrated solar collector is the sunlight that afflicts the concentrator will then be forwarded to the absorber pipe so that the heat will be forwarded to the fluid to be heated. To get a continuous heat can be done by using heat storage media one of them is a black sand beach. So that heat reflected by the concentrator will be absorbed first by the receiver pipe in which there are sand and absorber pipe shaped spiral. By placing the absorber pipe in pipe receiver then the heat absorbed by the receiver pipe will be forwarded to the sand and then absorbed by the absorber pipe to increase heat absorption.

The method used in this research is to put the sand as a heat storage media. In the sand there is spiral shaped absorber pipe for water flow in a concentrated solar collector. In this test the independent variables studied or tested influence of estrangement is spiral shaped absorber pipe are varied within the distance of estrangement 3, 5, and 7 cm.

From the test results a concentrated solar collector overall seen that T_{out} , Q_u , and the efficiency of the absorber pipe estrangement 5 cm showed the best results with estrangement 3 cm and 7 cm.

Keyword : concentrated solar collectors, spiral shaped absorber pipe, performance collector

1. Pendahuluan

Di Indonesia umat manusia tidak dapat dipisahkan dari kebutuhan energi, maka dari itu manusia kembali untuk mencari sumber – sumber energi yang dapat diperbarui, karena semakin kritisnya energi di Indonesia saat ini. Pengetahuan dan teknologi yang kita miliki saat ini, memanfaatkan sinar matahari yang berlimpah serta mempunyai energi bersih tanpa polusi. Penggunaan energi baru dan terbarukan, yang ketersediaannya

berlimpah akan sangat bermanfaat terutama untuk daerah terpencil. Hal ini juga akan mengurangi ketergantungan terhadap sumber energi konvensional (minyak dan gas bumi), yang ketersediaannya dalam jangka panjang tidak dapat dipertahankan. Energi baru dan terbarukan sebagai energi yang pada umumnya berasal dari sumber non-fosil, dapat diperbarui, tidak akan pernah habis dan ramah lingkungan. Sebagai negara tropis, Indonesia mempunyai potensi energi surya yang cukup besar. Untuk memanfaatkan potensi energi surya tersebut,

ada 2 (dua) macam teknologi yang sudah diterapkan, yaitu teknologi energi surya termal dan energi surya fotovoltaik. Energi surya termal, pada umumnya digunakan untuk memasak (kompor surya), mengeringkan hasil pertanian (perkebunan, perikanan, kehutanan, tanaman pangan) dan memanaskan air. Energi surya fotovoltaik digunakan untuk memenuhi kebutuhan listrik, pompa air, televisi, dan telekomunikasi. Maka energi surya merupakan energi yang sangat bagus untuk dimanfaatkan. Energi surya adalah energi radiasi yang dipancarkan secara langsung dari matahari ke bumi, berupa energi termal akibat temperatur permukaan matahari yang sangat tinggi. Kolektor surya adalah sebuah alat yang mampu menyerap dan memindahkan panas dari energi surya ke fluida kerja. Ketika cahaya matahari menimpa absorber pada kolektor surya, sebagian cahaya akan dipantulkan kembali ke lingkungan, sedangkan sebagian besarnya akan diserap dan dikonversi menjadi energi panas, lalu panas tersebut dipindahkan ke fluida kerja yang bersirkulasi di dalam kolektor surya (ismanto 2009). Saat ini semakin banyak pemanfaatan dari kolektor surya sebagai alat pemanas udara maupun air. Sebelumnya telah dilakukan beberapa penelitian diantaranya penelitian yang dilakukan oleh Arya Warsita (2011) yang berjudul analisa performansi kolektor surya jenis turbular dengan menggunakan pasir sebagai media penyimpanan panas. Pengembangan kolektor surya juga dilakukan oleh Dwi Saputra (2010) yang meneliti jenis kolektor surya terkonsentrasi berjudul analisa performansi kolektor surya terkonsentrasi menggunakan receiver berbentuk silinder dengan variasi laju aliran volume. Melihat dari penelitian yang dilakukan oleh Arya Warsita dan Dwi Saputra perlu dilakukan pengembangan pada kolektor surya terkonsentrasi untuk mendapatkan hasil yang lebih maksimal. Pengembangan pada kolektor surya terkonsentrasi dapat dilakukan dengan memvariasikan pipa absorber berbentuk spiral untuk menambah luas permukaan perpindahan panas dan pasir laut sebagai media penyimpanan panas. Penggunaan pasir ini adalah dengan memanfaatkan porositas yang dimiliki oleh pasir sebagai batuan yang sangat kecil.

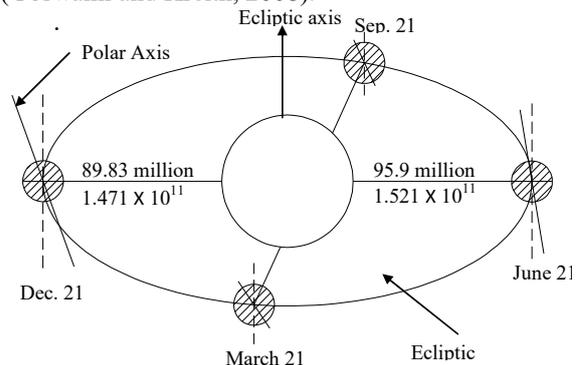
Pada penelitian ini akan dianalisa pengaruh kerenggangan pipa absorber berbentuk spiral terhadap performansi kolektor surya terkonsentrasi dengan media penyimpanan panas pasir laut berwarna hitam, sehingga nantinya kolektor surya ini diharapkan menghasilkan panas yang lebih tinggi dan dapat dimanfaatkan sebagai pemanas air yang selanjutnya dapat digunakan dalam kehidupan sehari-hari.

2. Landasan Teori

2.1 Radiasi Surya

2.1.1 Konstanta Surya

Matahari merupakan sebuah bola gas yang berdiameter $1,39 \times 10^9$ m, mempunyai massa sebesar 2×10^{30} Kg. Lapisan luar matahari disebut fotosfer memancarkan suatu spectrum radiasi yang kontinu dengan temperatur permukaan efektif sebesar 5762 K sedangkan intinya mencapai temperatur 8×10^6 K dan densitasnya 10^5 Kg/m³. Keseluruhan energi ditimbulkan karena adanya reaksi fusi pada inti matahari, dan energi ditransmisikan secara radial sebagai radiasi elektromagnetik dan disebut sebagai energi surya. Jarak rata-rata antara matahari bumi adalah $1,495 \times 10^{11}$ m, jarak terpendek dan terjauh adalah $1,47 \times 10^{11}$ m dan $1,521 \times 10^{11}$ m, yang masing-masing terjadi pada 21 Desember dan 21 Juni (Goswami and Kreith, 2008).



Gambar 1. Hubungan Matahari Dengan Bumi.

Radiasi yang dipancarkan oleh permukaan matahari, E_s , adalah sama dengan hasil perkalian konstanta Stefan-Boltzmann σ , temperatur absolute pangkat empat T_s^4 , dan luas permukaan πd_s^2 , (Arismunandar, 1995):

$$E_s = \sigma \pi d_s^2 T_s^4 \text{ (watt)} \dots \dots \dots (1)$$

Di mana d_s adalah diameter matahari (m).

Konstanta surya didefinisikan sebagai energi dari matahari persatuan waktu yang diterima oleh suatu unit luasan permukaan tegak lurus arah rambatan radiasi, pada jarak rata-rata bumi dengan matahari diluar atmosfer bumi yang besarnya adalah (Arismunandar, 1995):

$$G_{sc} = \frac{\sigma d_s^2 T_s^4}{4R^2} \text{ (W/m}^2\text{)} \dots \dots \dots (2)$$

Dimana R adalah jarak rata-rata antara matahari ke bumi.

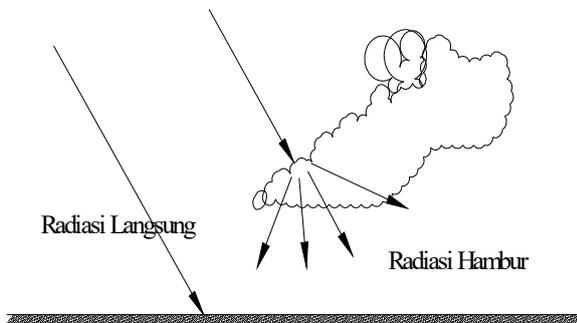
Dari persamaan di atas, maka diperoleh fluks radiasi per satuan luas dalam arah yang tegak lurus pada radiasi tepat di luar atmosfer bumi adalah (Arismunandar, 1995):

$$G_{sc} = \frac{5,67 \times 10^{-8} \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K}^2\text{)} \times (1,39 \times 10^9 \text{ m})^2 \times (5,762 \times 10^3 \text{ K})^4}{4 \times (1,5 \times 10^{11} \text{ m})^2} = 1353 \text{ W/m}^2 \dots \dots \dots (3)$$

2.1.2 Radiasi Surya Pada Permukaan Bumi

Radiasi surya yang mencapai permukaan bumi terdiri dari dua bentuk radiasi yang ditransmisikan secara langsung tanpa direfleksikan oleh objek disebut radiasi langsung (*direct/beam radiation*), I_b . Radiasi langsung mempunyai sifat spekulat, menimpa permukaan pada sudut yang ditentukan oleh garis yang menghubungkan pusat bumi dengan pusat surya. Apabila arah permukaan berubah, harga radiasi langsung dapat bertambah atau berkurang.

Sebagian radiasi surya dihamburkan, dipantulkan kembali ke angkasa dan diserap oleh atmosfer bumi. Namun sebagian dari radiasi ini diradiasikan kembali dan mencapai permukaan bumi dari semua arah secara seragam. Radiasi tersebut disebut radiasi hambur (*diffuse radiation*), I_d .



Gambar 2. Radiasi sorotan dan radiasi sebaran.

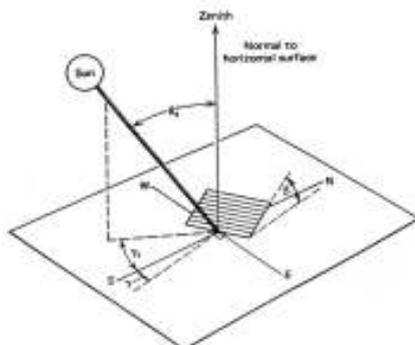
Penjumlahan radiasi sorotan atau beam (I_b), dan radiasi sebaran atau diffuse (I_d) merupakan radiasi total (I), pada permukaan horizontal per jam yang dapat dirumuskan (Arismunandar, 1995):

$$I = I_b + I_d \text{ (W/m}^2\text{)} \dots \dots \dots (4)$$

Selain dengan persamaan tersebut, harga I juga dapat diukur dengan menggunakan solarimeter.

2.1.3 Lokasi dan Kemiringan Permukaan

Lokasi dan kemiringan permukaan menentukan besarnya sudut datang radiasi pada permukaan tersebut. Hubungan geometrik antara sebuah permukaan dengan radiasi matahari yang datang dapat dinyatakan dalam beberapa sudut seperti yang ditunjukkan pada gambar 3 dibawah:



Gambar 3. Sudut zenith, sudut kemiringan, sudut azimuth permukaan, sudut azimuth surya.

Berikut ini adalah beberapa pengertian sudut-sudut dalam hubungannya dengan posisi bumi-surya:

- \emptyset = Sudut lintang, sudut lokasi suatu tempat dipermukaan bumi terhadap equator, dimana arah utara-selatan, $-90 \leq \emptyset \leq 90$ dengan utara positif.
- θ = Sudut datang berkas sinar (*angel of incident*), sudut yang dibentuk antar radiasi langsung pada suatu permukaan dengan garis normal permukaan tersebut.
- θ_z = Sudut zenith, sudut antara radiasi langsung dari matahari dengan garis normal bidang horizontal.
- β = Sudut kemiringan, yaitu sudut antara permukaan bidang yang dimaksud terhadap horizontal: $0^0 \leq \beta \leq 180^0$.
- α = Sudut ketinggian matahari, yaitu sudut antara radiasi langsung dari matahari dengan bidang horizontal.
- ω = Sudut jam (*hour of angel*), sudut antara bidang yang dimaksud dengan horizontal, berharga nol pada saat jam 12.00 waktu surya, setiap jam setara dengan 15^0 , kearah pagi negatif dan kearah sore positif.
- γ = Sudut azimuth permukaan, antara proyeksi permukaan pada bidang horizontal dengan meridian, titik nol diselatan, negatif timur, positif barat.
- γ_s = Sudut azimuth surya, adalah pergeseran anguler proyeksi radiasi langsung pada bidang datar terhadap arah selatan.
- δ = Deklinasi, posisi anguler matahari dibidang equator pada saat jam 12.00 waktu matahari. Sudut deklinasi dapat juga ditentukan dengan rumus:

$$\delta = 23,45 \sin \left(360 \frac{284+n}{365} \right)$$

ini menurut Cooper (1969). Dimana n adalah nomer urutan hari dalam satu tahun dimulai 1 januari.

2.2 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*). Panas akan berpindah dari medium yang bertemperatur lebih tinggi ke medium yang

temperaturnya lebih rendah. Perpindahan panas ini berlangsung terus sampai ada kesetimbangan temperatur diantara kedua medium tersebut.

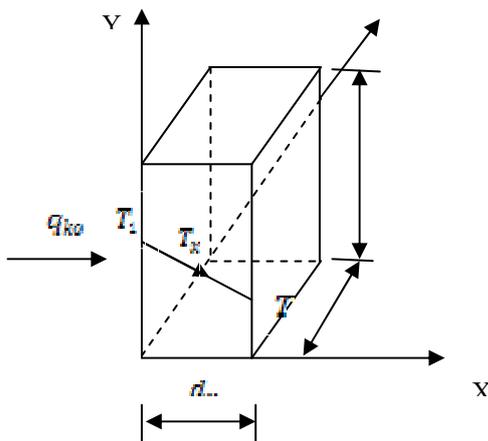
Perpindahan panas dapat terjadi melalui beberapa mekanisme, yaitu perpindahan panas secara konduksi, konveksi, dan radiasi.

2.2.1 Perpindahan Panas Konduksi

Perpindahan panas konduksi adalah 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.

Konsep yang ada pada konduksi adalah merupakan aktivitas atomik dan molekuler. Sehingga peristiwa yang terjadi pada konduksi adalah perpindahan energi dari partikel yang lebih energetik (molekul lebih berenergi/ber temperatur tinggi) menuju partikel yang kurang energetik (molekul kurang berenergi/ber temperatur lebih rendah), akibat adanya interaksi antara partikel-partikel tersebut.

Untuk kondisi perpindahan panas keadaan *steady* melalui dinding datar satu dimensi seperti ditunjukkan pada gambar 4.



Gambar 4. 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:

$$q_{kond} = -kA \frac{dT}{dx} \dots \dots \dots (5)$$

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)

$$\frac{dT}{dx} = \text{gradien temperatur pada penampang}$$

tersebut (K/m)

Tanda negatif (-) diisi agar memenuhi hukum kedua termodinamika, yaitu bahwa panas mengalir dari media yang ber temperatur lebih tinggi menuju media yang temperaturnya lebih rendah.

Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4 diatas, bahwa kalor berpindah dari T_1 ke T_2 karena T_2 temperaturnya lebih rendah dari T_1 . Jika dilihat dari persamaan 7 diatas, 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.

2.2.2 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 :

$$q_{rad,g} = \epsilon \cdot \sigma \cdot T_s^4 \cdot A \dots \dots \dots (6)$$

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

$$q_{rad,b} = \sigma \cdot T_s^4 \cdot A \dots \dots \dots (7)$$

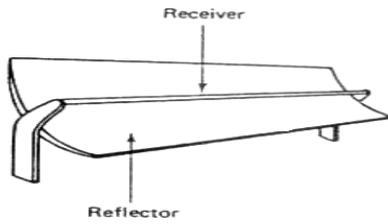
dimana :

- 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 (m^2)
- T_s = temperatur benda (K)

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

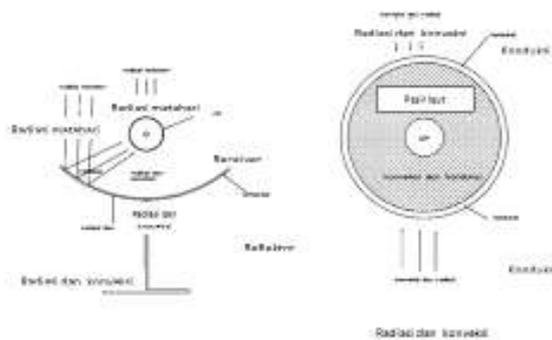
2.2.3 Konsentrasi Linier

Konsentrasi linier yaitu pengumpul surya terpusat yang biasanya menggunakan reflektor berbentuk persegi panjang yang dilengkungkan, sehingga konsentrasi radiasi matahari yang terjadi berbentuk garis lurus atau linier dengan demikian absorbernya akan memanjang



Gambar 5. Konsentrasi Linier

2.1.4 Perpindahan Panas Pada Kolektor Surya Terkonsentras Dengan Absorber Berbentuk Silinder.



Gambar 6. Perpindahan panas pada kolektor surya terkonsentrasi dengan absorber berbentuk silinder

Proses perpindahan panas pada alat yang dibuat dapat dilihat pada gambar 6, mana energi matahari yang menuju reflector terjadi secara radiasi dan konveksi. Didalam absorber terjadi perpindahan panas konduksi dan konveksi antara dinding dengan pasir laut. Sedangkan dari dinding luar absorber terhadap dinding dalam absorber terjadi perpindahan panas secara konduksi. Panas dari pasir laut akan diteruskan ke air yang mengalir didalam pipa tembaga.

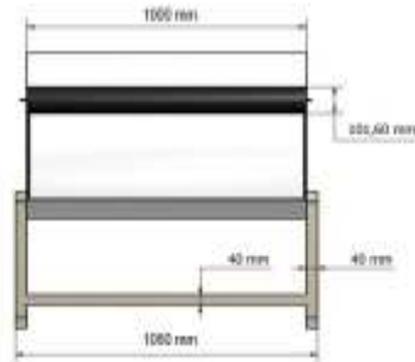
3. Metode Penelitian

3.1 Rancangan Penelitian

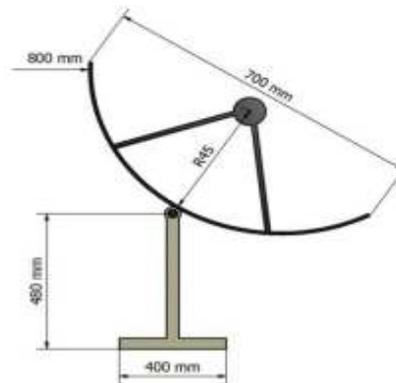
Penelitian ini menguji sebuah kolektor surya terkonsentrasi dengan variasi laju aliran air berbentuk spiral dan pasir sebagai media penyimpan panas. Penelitian ini diperlukan sebuah persiapan yang sangat literatur, agar nantinya penelitian ini dapat dilakukan dengan akurat. Penelitian ini diawali dengan pembuatan kolektor surya terkonsentrasi dan pipa saluran air semua di isolasi agar suhu air tetap terjaga, lalu dilanjutkan dengan pemasangan alat pengukur temperatur di titik-titik tertentu pada kolektor. Setelah persiapan selesai maka dilakukan pengujian pada kolektor surya dengan cara

pengamatan dan pencatatan data-data yang ditunjukkan oleh alat ukur. Dari data-data yang didapat pada pengujian, dilakukan perhitungan temperatur keluar kolektor dan energi berguna secara aktual.

Kedua hasil perhitungan dibandingkan sehingga diketahui perbandingan performansi dari kolektor surya terkonsentrasi tersebut.



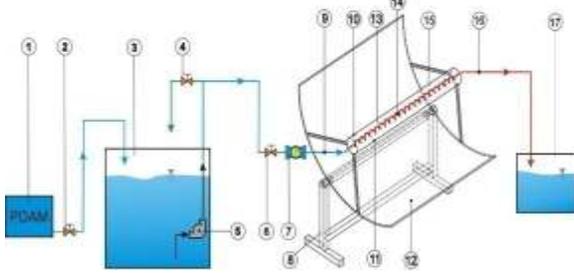
Gambar 7. Kolektor surya tampak depan



Gambar 8. Kolektor surya tampak samping.

Gambar 7 dan gambar 8 menunjukkan bahwa konstruksi dari kolektor ini terdiri dari reflector, absorber serta kaki penyangga reflector. Jarak titik pusat absorber terhadap reflector adalah 45 cm, ini karena jari-jari kelengkungan reflector adalah 80 cm. Receiver sebagai penyerap panas yang dipantulkan reflector dibuat dari plat baja yang akan dicat hitam doff keseluruhan. Pada kolektor surya ini akan menggunakan pasir sebagai media penyimpan panas yang di letakkan di dalam pipa receiver yang terdapat pipa absorber berbentuk spiral untuk aliran fluida, pasir yang digunakan berupa pasir pantai warna hitam. Untuk memperoleh validasi perbandingan kolektor tersebut, pengujian dilakukan di hari yang berbeda pada kondisi lingkungan juga berbeda.

Gambar penempatan alat kolektor surya terkonsentrasi dapat dilihat pada gambar 9.

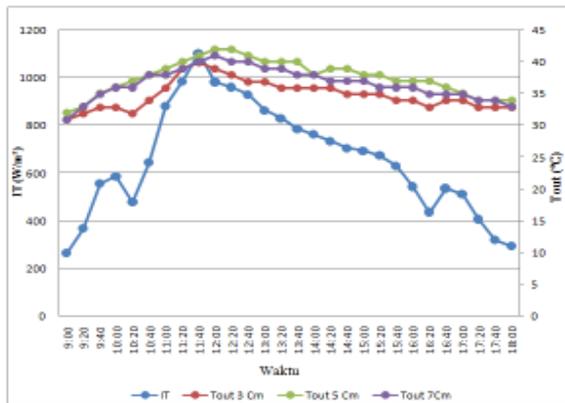


Gambar 9. Penempatan alat keseluruhan dan alat ukur.

4. Hasil dan Pembahasan

4.1 Distribusi Temperatur

Dari pengujian yang dilakukan dengan membandingkan kolektor surya terkonsentrasi pada kerenggangan 3 cm, 5 cm dan 7 cm pipa absorber berbentuk spiral, didapatkan temperatur keluaran kolektor (T_0) seperti pada gambar dibawah :

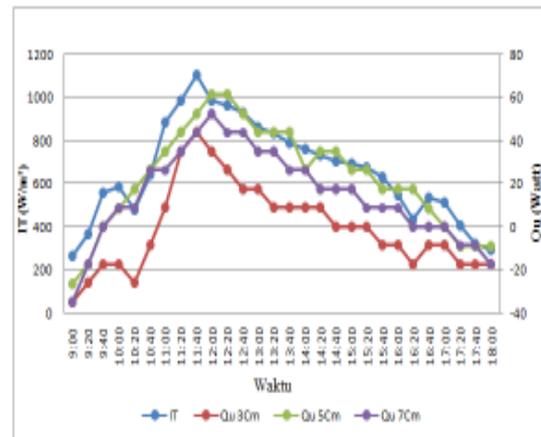


Gambar 10. Grafik perbandingan, T_{out} kerenggangan 3 cm, 5 cm, 7 cm pipa absorber berbentuk spiral.

Gambar 10 terlihat bahwa perbandingan T_{out} kerenggangan 3 cm, 5 cm, dan 7 cm pipa absorber berbentuk spiral dilihat bahwa dengan kerenggangan 5 cm menunjukkan hasil terbaik dibandingkan kerenggangan 3 cm dan 7 cm. Hal ini dikarenakan pada T_{out} kerenggangan 3 cm jarak spiral terlalu pendek sehingga pipa fluida tidak terisi penuh oleh air maka panas yang diserap juga sedikit dan temperature keluar menjadi kecil. Sedangkan pada T_{out} kerenggangan 7 cm jarak spiral terlalu renggang dan laju aliran semakin cepat.

4.2 Energi Berguna (Q_U) Kolektor

Hasil perhitungan energi berguna didapat seperti grafik dibawah ini :

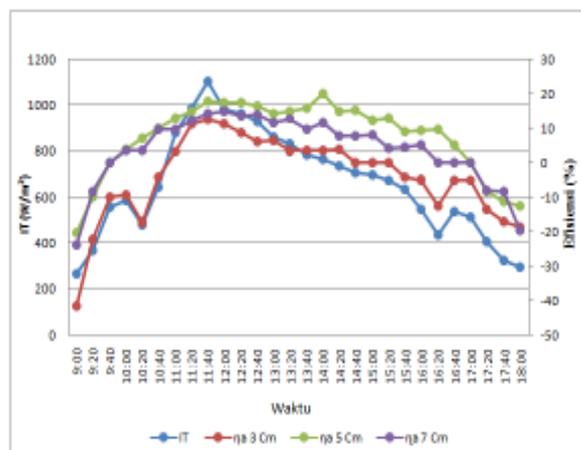


Gambar 11. Grafik perbandingan Q_u dengan kerenggangan 3 cm, 5 cm dan 7 cm pipa absorber berbentuk spiral.

Grafik perbandingan energi berguna pada gambar 11 yaitu grafik energi berguna kerenggangan 3 cm pada pipa absorber berbentuk spiral, grafik energi berguna dengan kerenggangan 5 cm dan grafik energi berguna kerenggangan 7 cm. Dapat disimpulkan bahwa kerenggangan 5 cm menghasilkan energi berguna tertinggi pada angka 61,36 Watt, dengan intensitas matahari 1120 W/m^2 kondisi cuaca cerah di waktu 12.00 WITA. ini dikarenakan oleh Temperatur air keluar kolektor

4.3 Efisiensi Sesaat Kolektor

Gambar 12 menunjukkan grafik perbandingan efisiensi dengan kerenggangan 3 cm, 5 cm dan 7 cm pipa absorber berbentuk spiral bahwa efisiensi pada kolektor surya terkonsentrasi bisa dilihat pada grafik dibawah ini :



Gambar 12. Grafik perbandingan efisiensi dengan kerenggangan 3 cm, 5 cm dan 7 cm pipa absorber berbentuk spiral.

Gambar 12 grafik perbandingan dapat disimpulkan bahwa efisiensi tertinggi didapat pada kerenggangan 5 cm pada angka 17,17%, waktu 12.00 WITA dengan intensitas matahari 1120 W/m² kondisi cuaca berawan. Hal ini di pengaruhi oleh energi berguna.

5. Kesimpulan

Dari ketiga variasi pipa absorber berbentuk spiral dengan kerenggangan 3 cm, kerenggangan 5 cm dan kerenggangan 7 cm, dapat disimpulkan bahwa kerenggangan 5 cm memperoleh performansi yang paling baik dengan temperatur air keluar 42 °C, energy berguna 61.36 Watt, dan efisiensi 17.17 % pada pukul 12.00 WITA dengan intensitas radiasi matahari 1120 W/m². Dari hasil perhitungan ada yang mendapatkan energi berguna 0 Watt, efisiensi juga 0 %, dan didapat juga efisiensi bernilai negatif. Hal ini menandakan bahwa pasir tidak bagus untuk media penyipan panas, karena pasir mudah menyerap panas dan mudah melepaskan panas juga adanya porositas pasir.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Goswami and Kreith, 1982. Hubungan Matahari Dengan Bumi.
- [2] Janse, T. J. ahli bahasa oleh Prof. Wiranto Arismunandar, 1995. Teknologi Rekayasa Surya, PT. Pradnya Paramita , Jakarta.
- [3] Jhon A. Duffie and William A. Beckman, 1980, Solar Engineering Of Thermal Energy Sistem, McGraw-Hill Book Company, New York.
- [4] Incropera and DeWitt, (1996), *Fundamentals of Heat and Mass transfer*, Jhon Wiley & Sons, Inc, New York.