# ANALISIS EFISIENSI PADA KOLEKTOR TERMAL SURYA PELAT DATAR DENGAN SIMULATOR RADIASI MATAHARI

# EFFICIENCY ANALYSIS OF FLAT PLATE SOLAR THERMAL COLLECTOR WITH SOLAR RADIATON SIMULATOR

**Yandi Firdaus[1], Tri Ayodha Ajiwiguna, M.Eng[2], M. Ramdlan Kirom, S.Si., M.Si.[3]**
[1,2,3]Prodi S1 Teknik Fisika, Fakultas Teknik, Universitas Telkom
[1]**yandifirdaus@student.telkomuniversity.ac.id**, [2]**tri.ayodha@telkomuniversity.co.id**,
[3]**mramdlankirom@telkomuniversity.ac.id**

**Abstrak**

**Potensi energi baru terbarukan (EBT) di Indonesia sangat besar untuk dimanfaatkan dan dikembangkan. Kolektor termal surya adalah salah satu teknologi yang digunakan untuk menyerap energi termal/panas dari matahari. Pada penelitian ini dibuat dan diuji suatu kolektor termal surya tipe pelat datar. Kolektor termal ini diuji dengan beberapa variasi untuk mendapatkan nilai efisiensi dari kolektor tersebut. Kolektor ini diuji didalam ruangan dengan menggunakan simulator radiasi matahari sebagai sumber radiasi buatam menggantikan matahari. Dari percobaan telah didapatkan bahwa kolektor termal surya yang telah dibuat memiliki efisiensi rata-rata paling besar sekitar 54,33%. Kedepannya, diharapkan pemanfaatan kolektor termal surya ini dapat digunakan lebih luas mengingat sangat besarnya potensi energi matahari untuk digunakan di Indonesia.**

**Kata kunci : Energi Surya, Kolektor Termal, Efisiensi, Radiasi Matahari**

**Abstract**

**The potential of renewable energy in Indonesia is very large to be utilized and developed. The solar thermal collector is one of the technologies that can be use to absorb thermal/heat energy from the sun. In this research a flat plate solar thermal collector was made and tasted. the efficiency value was obtained with many variations. This thermal collector was tested with several variations to obtain the efficiency value of the collector. This collector was tested indoor using a solar radiation simulator as a source of radiation to replace the sun. From the experiments, that the solar thermal collectors have the highest average efficiency around 54.33%. In the future, it is expected that the use of solar heat collectors can be used more broadly given the enormous potential of solar energy to be used in Indonesia.**

**Keywords: Solar Energy, Thermal Collectors, Efficiency, Solar Radiation**

## 1. Pendahuluan

Indonesia memiliki potensi energi surya yang sangat besar karena wilayahnya yang terbentang melintasi garis khatulistiwa, dengan besar radiasi penyinaran 4,80 kWh/m$^2$/hari. Potensi energi tersebut seharusnya dapat dimanfaatkan dengan baik sebagai alternatif untuk melengkapi kebutuhan energi di Indonesia [1]. Salah satu alat yang dapat digunakan untuk mengumpulkan dan menyerap energi radiasi dari matahari secara langsung adalah kolektor termal surya [2]. Kolektor termal surya ini memiliki banyak sekali tipe, salah satunya adalah tipe pelat datar. Pada kolektor tipe pelat datar ini biasanya terdiri atas beberapa bagian utama yaitu, penutup transparan, pipa aliran fluida, pelat absorber, isolator dan rangka luar [3].

Pemanfaatan kolektor termal surya ini cukup beragam seperti memanaskan air pada industri rumah tangga maupun bangunan, pendinginan, maupun penghasil listrik. Sebelumnya, pernah dilakukan penelitian serupa tetapi hanya membandingkan besarnya perubahan sudut dan laju aliran saja. Dari penelitian sebelumnya didapatkan nilai efisiensi paling maksimal 53.67% untuk perubahan laju aliran pada 5,6 l/h dan 25,88% untuk perubahan kemiringan sudut 30º [4]. Pada penelitian ini, telah dilakukan pembuatan kolektor termal surya dan telah dianalisis bagaimana mendapatkan nilai efisiensi dari kolektor termal surya tersebut dengan berbagai variasi seperti sudut kemiringan kolektor , keadaan dengan dan tanpa kaca, perubahan laju aliran serta perubahan intensitas sumber. Sumber radiasi menggunakan suatu simulator radiasi matahari buatan yang terdiri

atas lampu pijar sebagai pengganti matahari dan pengujian dilakukan di dalam ruangan laboratorium.

## 2. Perancangan Sistem

### 2.1 Dasar Teori

Perpindahan panas / transfer kalor adalah suatu peristiwa yang terjadi apabila terdapat perbedaan temperatur antara suatu sistem dengan sistem yang lainnya, dari temperatur yang tinggi ke temperatur yang rendah dan baru akan berhenti ketika temperatur antara dua medium yang mengalami transfer kalor tersebut sama [4]. Adapun mekanisme perpindahan panas yang kita diketahui saat ini adalah konduksi , konveksi , dan radiasi. Radiasi merupakan satu mekanisme perpindahan perpindahan panas yang tidak memerlukan medium perantara karena merupakan suatu gelombang elektromagnetik [5]. Matahari adalah suatu bintang yang memiliki suhu permukaan mencapai 5800 K dan memancarkan radiasi mencapai 63,1 MW/ $m^2$ permukaan matahari. Rata-rata hanya setengah dari energi radiasi tersebut yang mencapai puncak atmosfer tersebut yang sampai di permukaan bumi karena sebagian diserap dan rata-rata 30% dipantulkan kembali ke luar angkasa [6].

Kolektor termal surya adalah suatu peralatan pemindah panas yang digunakan untuk menyerap radiasi panas dari matahari. Prinsipnya adalah untuk menyerap sebanyak mungkin radiasi matahari. Pada penerapannya dapat digunakan 3 metode yaitu memilih permukaan absortif, mengisolasi agar hilangnya panas akibat konduksi dan konveksi dapat di minimalisir, dan memfokuskan radiasi dari matahari [7].

Kolektor termal surya pada umunya memiliki beberapa komponen utama yaitu:

1. *Cove*r digunakan untuk mereduksi rugi-rugi panas secara konveksi ke lingkungan
2. *Black Absorber Plate* digunakan untuk menyerap radiasi matahari
3. *Fluid Conduit* digunakan mengalirkan fluida kerja dalam kolektor
4. *Insulation* untuk mereduksi rugi-rugi panas secara konduksi dari absorber ke lingkungan
5. *Collector box* untuk menahan beban dan memberi bentuk dari kolektor.

Kolektor termal surya memiliki berbagai macam jenis kolektor yang terbagi atas *non-concentrating solar collector* dan *concentrating solar collector*. *Non-concentration solar collector* adalah kolektor termal surya yang tidak memfokuskan sinar radiasi matahari ke suatu titik contohnya adalah *flat plate solar collector,* dan *evacuated tube* [8]. Sedangkan *concentrating solar collector* dimana dibutuhkan suatu piranti yang menjadi titik fokus dari radiasi matahari untuk dapat bekerja contohnya adalah *parabolic trough, central receiver* dan *pparabolic dish* [9].

Kolektor surya pelat datar menggunakan teori rumah kaca untuk meningkatkan efektifitas panas akibat dari radiasi matahari yang terperangkap di dalam kolektor termal surya. Untuk dapat menentukan nilai efisiensi kolektor pelat datar ini prinsipnya adalah dengan membandingkan kalor yang dihasilkan dari perubahan temperatur masuk dan keluar fluida dengan intensitas cahaya radiasi yang diterima oleh kolektor tiap satuan luas [10].

Energi kalor yang di transferkan pada fluida sebesar :

$$\dot{Q} = \dot{m}\, Cp\, (T_{f_0} - T_{f_i}) \tag{1}$$

$\dot{m}$ = laju aliran massa fluida (kg/det)
$Cp$ = kalor jenis fluida (J/kg.ºC)
$T_{f_0}$ = temperatur fluida keluar (K)
$T_{f_i}$ = temperatur fluida masuk (K)

Efisiensi kolektor termal surya didapatkan

$$\eta = \frac{\dot{Q}}{A_C \cdot I_T} \tag{2}$$

$I_T$ = radiasi total (watt/$m^2$)
$A_C$ = luas kolektor ($m^2$)

Dengan mensubstitusi persamaan (1) ke (2) maka didapatkan Efisiensi untuk kolektor termal surya sebesar :

$$\eta = \frac{\dot{m}\, Cp\, (T_{f_0} - T_{f_i})}{A_C \cdot I_T} \tag{3}$$

## 2.2 Alat dan Bahan

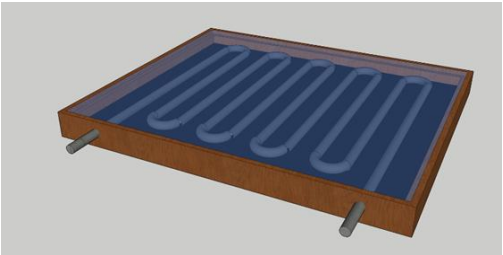
Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain :

*Tabel 1 Alat dan bahan*

| No. | Alat dan Bahan | Kegunaan |
|---|---|---|
| 1. | Kolektor termal surya Pelat datar | Memanaskan fluida dengan mengumpulkan dan mentransferkan energi panas dari matahari ke fluida yang mengalir. |
| 2. | Simulator Radiasi Matahari | Pengganti sinar matahari yang digunakan untuk memberikan radiasi pada kolektor termal surya. |
| 3. | *Termocouple* Tipe-K HT9815 | Sensor suhu keluaran dan masukkan fluida serta terhubung dengan *data logger* HT9815 untuk melakukan pencatatan data temperatur. |
| 4. | *Solar Power Meter* SOLAR-100 | Mengukur intensitas Radiasi yang diterima kolektor termal surya |
| 5. | Gelas Ukur | Mengukur volume air |
| 6. | Stopwatch | Mengukur waktu yang dibutuhkan untuk pengisian gelas ukur. |
| 7. | Pompa air aquarium | Mengalirkan flluida di dalam kolektor |
| 8. | Ember Besar | Menampung air yang digunakan |

*Gambar 1 Kolektor Termal Surya dan Simulator Radiasi Matahari*

## 2.3 Pembuatan Kolektor Termal



*Gambar 2 Desain Kolektor Termal Surya*

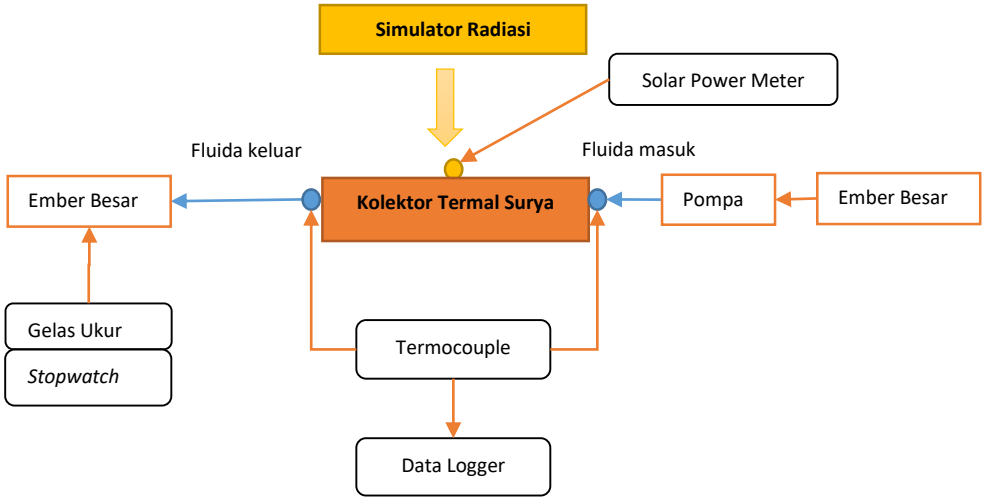
Kolektor termal surya dibuat memiliki dimensi yaitu luas 64 x 54 cm dan tinggi 5 cm menggunakan 5 lapisan bagian yang masing-masing menggunakan bahan penyusun tertentu dimulai dari lapisan paling bawah antara lain:

*Tabel 2 Lapisan-lapisan pada Kolektor Termal Surya*

| No. | Lapisan | Dimensi | Bahan penyusun |
|---|---|---|---|
| 1 | Lapisan pelindung | Bagian bawah :<br>64 x 54 cm<br>Ketebalan setiap sisi : 2 cm<br>Tinggi : 5 cm | Kayu Triplek |
| 2 | Lapisan isolator | Luas : 50x60 cm<br>Ketebalan : 1 cm | *Polystyrene Styrofoam* |

| | | | |
|---|---|---|---|
| 3 | Lapisan absorber | Luas : 50x60 cm<br>Ketebalan : 0,25 mm | Aluminium Lembaran |
| 4 | Lapisan kanal fluida | 8 bagian berukuran 40 cm dan 2 bagian berukuran 70 cm. | Pipa tembaga |
| 5 | Lapisan penutup transparan | Luas : 63 x 52 cm<br>Ketebalan : 0,6 cm | *float glass* / kaca bening |

### 2.4 Skema dan Prosedur Pengukuran



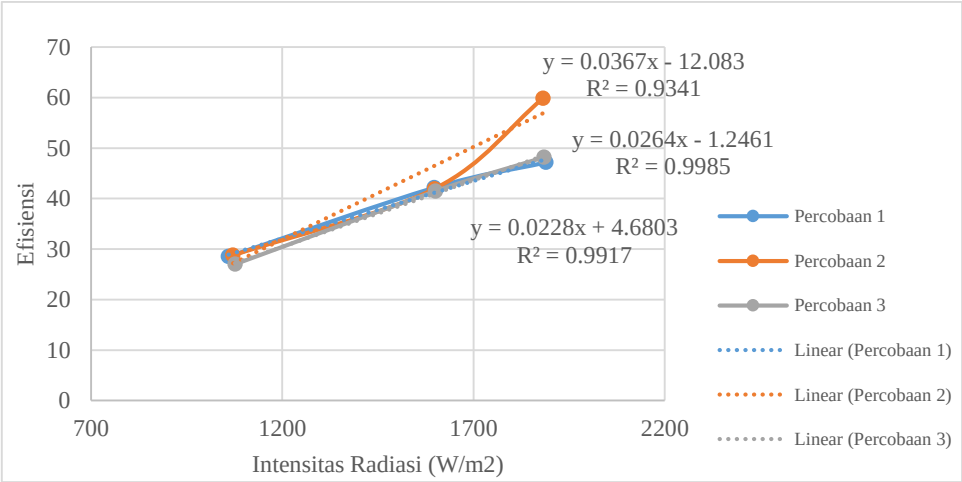

*Gambar 3 Skema Pengujian Kolektor Termal Surya*

Prosedur pengujian yang dilakukan antara lain :

1. Tahap persiapan yaitu mempersiapkan dan menggabungkan semua peralatan seperti pada skema pengukuran. Jarak antara kolektor dan sumber radiasi dibuat sekitar 10 cm.
2. Tahap pengujian yaitu melakukan beberapa variasi pengukuran di antaranya :
   a. Mula-mula untuk percobaan dengan pengaruh intensitas radiasi, melakukan pengaturan kolektor pada keadaan dengan kaca, kemiringan kolektor 0 derajat, laju aliran diatur maksimum yaitu dengan membuka penuh keran aliran fluida dan intensitas radiasi simulator diatur maksimum yaitu saat rotasi penuh pada dimmer.
   b. Melakukan pengambilan data perubahan suhu masukan dan keluaran dari kolektor setiap 1 menit pada alat selama 1 jam menggunakan *thermocouple*.
   c. Melakukan pengukuran intensitas menggunakan Solar Power Meter pada bagian atas kolektor serta pengukuran laju aliran menggunakan gelas ukur dan stopwatch.
   d. Melakukan percobaan sebanyak 3 kali pada setiap keadaan
   e. Mengulangi kembali percobaan dari poin a hingga d dengan mengubah intensitas radiasi simulator menggunakan dimmer pada keadaan medium yaitu saat rotasi dimmer setengah dan minimum saat rotasi dimmer terkecil.
   f. Mengulangi kembali percobaan dari poin a hingga d dengan mengubah laju aliran menggunakan keran pada keadaan medium yaitu saat bukaan keran setengah dan minimum saat bukaan keran terkecil.
   g. Mengulangi kembali percobaan dari poin a hingga d dengan mengubah kemiringan sudut kolektor menjadi 15º dan 30º menggunakan penyangga.
   h. Mengulangi kembali percobaan a hingga d dengan melepaskan kaca yang digunakan.
3. Tahapan Pengolahan data dan analisis yaitu menggunakan persamaan (2.7) dan (2.8) pada Bab II untuk mendapatkan nilai laju kalor yang diterima dan efisiensi kolektor tersebut. Dari data yang telah didapatkan dicari ukuran sebaran dan pemusatan data dengan menggunakan statistical deskriptif. Setiap mean dari data tersebut dipetakan pada grafik efisiensi terhadap laju aliran dan intensitas radiasi. Sehingga akan didapatkan trend pada setiap grafik dan dapat dianalisis hubungan antara variabel tersebut.

## 3. Pembahasan

### 3.1 Hasil pengujian dengan pengaruh intensitas radiasi



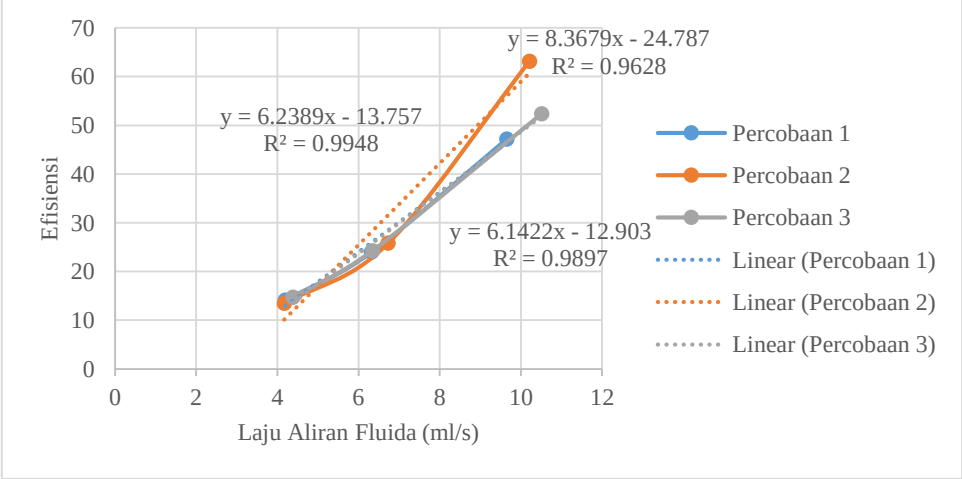

*Gambar 4 Grafik intensitas radiasi terhadap efisiensi pada V = 0.009653 L/s untuk setiap percobaan*

*Tabel 3 Rata-rata efisiensi pada tiap keadaan dengan pengaruh intensitas radiasi*

| Intensitas radiasi | Rata-rata efisiensi pada percobaan 1 | Rata-rata efisiensi pada percobaan 2 | Rata-rata efisiensi pada percobaan 3 | Rata-rata efisiensi tiap keadaan | Standard deviasi |
|---|---|---|---|---|---|
| $I_{MAX}$ | 47.1608 | 59.8702 | 48.1893 | 51.7401 | 7.0596 |
| $I_{MED}$ | 42.1524 | 41.9514 | 41.4813 | 41.8617 | 0.3445 |
| $I_{MIN}$ | 28.5217 | 28.7737 | 27.0135 | 28.1029 | 0.9519 |

Dari percobaan yang dilakukan menunjukkan bahwa semakin besar intensitas yang diberikan pada kolektor maka nilai efisiensi juga akan semakin besar. Pengujian pada tiap keadaan menujukkan bahwa pada intensitas maksimal (IMAX) memiliki rata-rata efisiensi terbesar yaitu 51,74% dengan standard deviasi 7,0596 serta efisiensi terkecil pada saat intensitas minimum yaitu 28,10 % dengan standar deviasi 0,9519.

### 3.2 Hasil pengujian dengan pengaruh laju aliran fluida



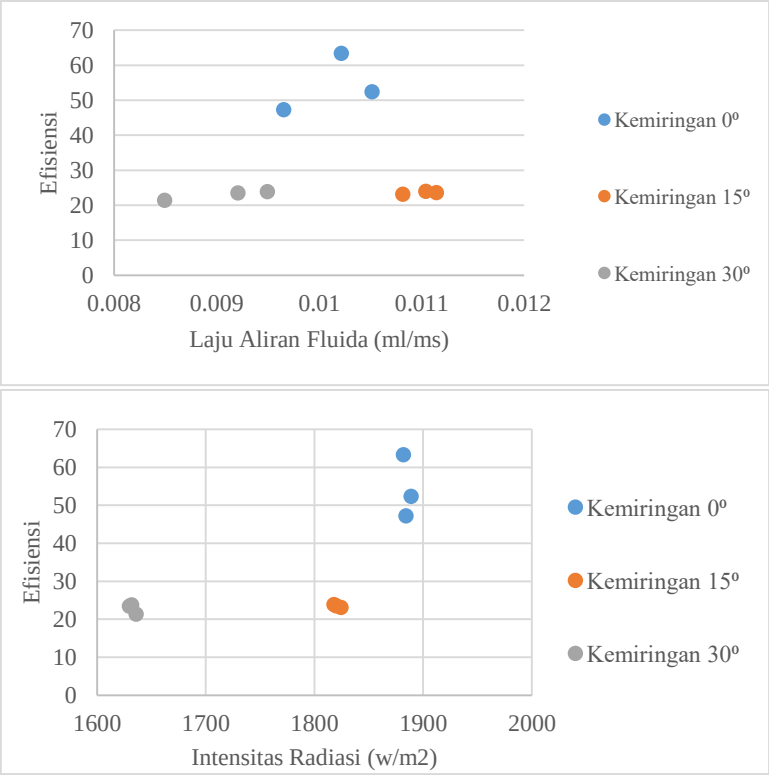

*Gambar 5 Grafik laju aliran fluida terhadap efisiensi pada I = 1888.956 W/m2*

*Tabel 4 Rata-rata efisiensi pada tiap keadaan dengan pengaruh laju aliran*

| Laju Aliran | Rata-rata efisiensi pada percobaan 1 | Rata-rata efisiensi pada percobaan 2 | Rata-rata efisiensi pada percobaan 3 | Rata-rata efisiensi | Standar deviasi |
|---|---|---|---|---|---|
| $\dot{V}_{MAX}$ | 47.1608 | 63.1174 | 52.3623 | 54.2135 | 8.1378 |
| $\dot{V}_{MED}$ | 23.9451 | 25.8018 | 24.2489 | 24.6653 | 0.9959 |
| $\dot{V}_{MIN}$ | 14.0672 | 13.4403 | 14.6935 | 14.0670 | 0.6266 |

Dari percobaan yang dilakukan menunjukkan bahwa semakin besar laju aliran fluida yang diberikan pada kolektor maka nilai efisiensi juga akan semakin besar. Pengujian dengan pengaruh laju aliran fluida pada tiap keadaan menujukkan bahwa pada intensitas maksimal (V ̇MAX) memiliki rata-rata efisiensi terbesar yaitu 54,2135% dengan standard deviasi 8,1378 serta efisiensi terkecil pada saat laju aliran minimum yaitu 14,0670 % dengan standar deviasi 0,6266.

### 3.3 Hasil pengujian dengan pengaruh kemiringan kolektor



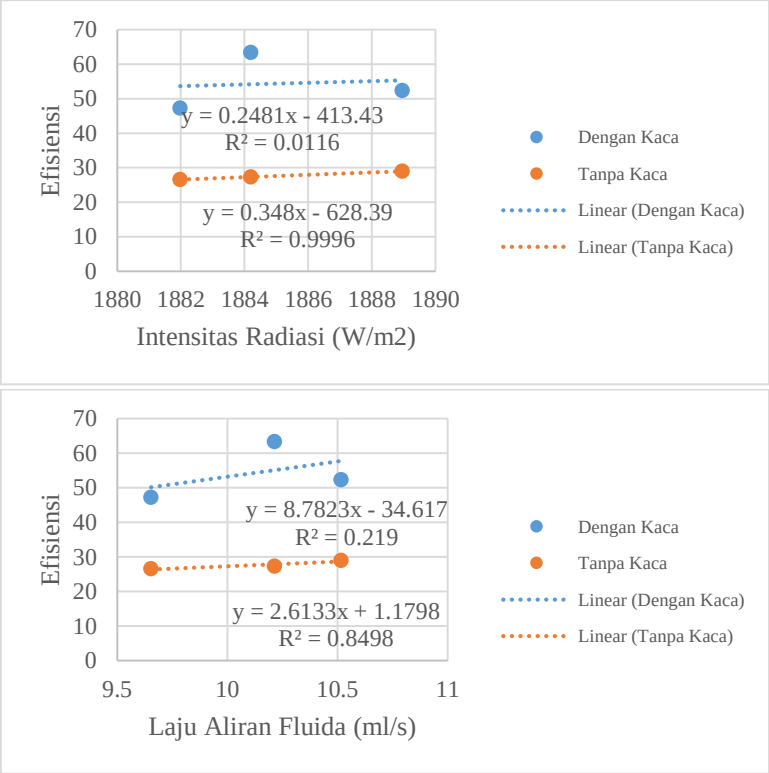

*Gambar 6 Grafik laju aliran fluida terhadap efisiensi dan Intensitas radiasi terhadap efisiensi dengan pengaruh kemiringan sudut kolektor*

*Tabel 5 Rata-rata efisiensi pada tiap keadaan dengan pengaruh laju aliran*

| Sudut kemiringan kolektor | Rata-rata efisiensi pada percobaan 1 | Rata-rata efisiensi pada percobaan 2 | Rata-rata efisiensi pada percobaan 3 | Rata-rata efisiensi | Standar deviasi |
|---|---|---|---|---|---|
| Kemiringan 0º | 47.2798 | 63.3514 | 52.3623 | 54.3312 | 8.2147 |
| Kemiringan 15º | 23.6027 | 23.9392 | 23.1214 | 23.5544 | 0.4110 |
| Kemiringan 30º | 23.8136 | 23.4847 | 21.3674 | 22.8886 | 1.3276 |

Pengujian dengan pengaruh sudut kemiringan kolektor pada tiap keadaan menujukkan bahwa kemiringan kolektor sebesar 0º memberikan rata-rata efisiensi paling besar untuk setiap kali percobaan yaitu 54,3312% dengan standard deviasi 8,2147. Sedangkan, pada kemiringan 30º efisiensi yang didapatkan mendapat nilai paling kecil yaitu 22,3674% dengan standar deviasi sebesar 1,3276.

### 3.4 Hasil Pengujian dengan dan tanpa kaca




*Gambar 7 grafik intensitas radiasi terhadap efisiensi dan laju aliran fluida terhadap efisiensi dengan dan tanpa kaca*

*Tabel 6 Rata-rata efisiensi pada tiap keadaan dengan pengaruh penggunaan kaca*

| Penggunaan Kaca | Rata-rata efisiensi pada percobaan 1 | Rata-rata efisiensi pada percobaan 2 | Rata-rata efisiensi pada percobaan 3 | Rata-rata efisiensi | Standar deviasi |
|---|---|---|---|---|---|
| Dengan Kaca | 47.2798 | 63.3514 | 52.3623 | 54.3312 | 8.2147 |
| Tanpa Kaca | 26.5986 | 27.3276 | 29.0174 | 27.6479 | 1.2408 |

Pengujian dengan pengaruh penggunaan kaca memberikan rata-rata efisiensi paling besar jika dibandingkan dengan tidak menggunakan kaca yaitu 54,3312% dengan standard deviasi 8,2147 pada keadaan dengan menggunakan kaca. Sedangkan, pada keadaan tanpa kaca didapatkan efisiesi yang lebih kecil yaitu 27,6479% dengan standar deviasi sebesar 1,2408.

## 4. Simpulan dan Saran

Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan maka dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Telah dibuat dan diuji kolektor termal surya menggunakan simulator radiasi matahari
2. Pengujian dengan pengaruh intensitas radiasi menunjukkan bahwa semakin besar intensitas yang diberikan pada kolektor maka nilai efisiensi juga akan semakin besar. Pada pengujian ini dengan memiliki rata-rata efisiensi terbesar yaitu 51,74% pada saat intensitas maksimum serta efisiensi terkecil pada saat intensitas minimum yaitu 28,10 %.
3. Pengujian dengan pengaruh laju aliran fluida menunjukkan semakin besar laju aliran yang digunakan maka nilai efisiensi juga akan semakin besar. Pada pengujian ini didapatkan saat laju aliran maksimum, efisiensi terbesar yaitu 54,2135% serta saat laju aliran minimum efisiensi terkecil yaitu 14,0670 %.
4. Pengujian dengan pengaruh sudut kemiringan didapatkan bahwa sudut kemiringan $0^o$ atau tegak lurus dengan sumber radiasi memberikan nilai efisiensi paling besar jika dibandingkan dengan keadaan sudut lain yaitu sebesar 54,3312%

5. Pengujian dengan pengaruh penggunaan kaca didapatkan bahwa penggunaan kaca pada kolektor memang lebih efektif untuk digunakan karena dapat memberikan efisiensi terbesar yaitu 54,3312% dibandingkan ketika tidak menggunakan kaca.

Adapun beberapa saran untuk penelitian selanjutnya antara lain :

1. Dari data percobaan kolektor dapat dibuat sistem kontrol dengan menyesuaikan hasil data tersebut agar kolektor dapat selalu berada dalam keadaan optimalnya.
2. Untuk pengujian dapat menggunakan sistem yang otomatis agar pengukuran yang dilakukan dapat lebih realtime menyesuaikan dengan keadaan sebenarnya.
3. Percobaan pengukuran dapat dilakukan lebih banyak lagi untuk meminimalisir error yang didapatkan selama melakukan pengujian.

**Daftar Pustaka**

[1] Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, *"Jurnal Energi Media Komunikasi Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral" Edisi 02,,* 2016.

[2] Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Ketenagalistrikan, Energi Baru, Terbarukan, dan Konservasi Energi, "Solar Termal," 5 September 2018. [Online]. Available: http://www.p3tkebt.esdm.go.id/index.php?option=com_content&view=article&id=379&lang=en.

[3] S. Unggul Dwi dan D. Bambang Arip, "Pengaruh Sudut Kemiringan Kolektor Surya Pelat Datar terhadap Efisiensi Termal dengan Penambahan Eksternal Annular Fin pada Pipa," *JURNAL TEKNIK ITS No. 1,* vol. 4, pp. 2337-3539, 2015.

[4] Y. A. Çengel, Heat transfer: A practical approach, Boston: Mass: WBC McGraw-Hill, 1998.

[5] T. Surawan, "Materi Kuliah Gelombang Elektromagnetik," 30 September 2018. [Online]. Available: http://tri_surawan.staff.gunadarma.ac.id/Downloads/files/40819/Bab7_Gelombang+elektromagnetik.pdf 30/9/.

[6] C. C. Julian, Physics of Solar Energy, Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc, 2011.

[7] J. A. Duffie dan W. A. Beckman, Solar Engineering of Thermal Processes, United States of America: University of Wisconsin-Madison, 2013.

[8] Carbon Trust, "Types of solar thermal collector," *Solar thermal technology,* pp. 6-7, 2012.

[9] P. P. Mukund R. Patel, Wind and Solar Power Systems, Florida: Corporate Blvd., Boca Raton, 1942.

[10] T. Rahardjo dan A. H. Ekadewi, "Unjuk Kerja Pemanas Air Jenis Kolektor Surya Plat Datar dengan Satu dan Dua Kaca Penutup," *JURNAL TEKNIK MESIN No. 2,* vol. 1, pp. 115 - 121, 1999.

[11] I. Razika, I. Nabila, B. Madani and H. F. Zohra, "The effects of volumetric flow rate and inclination angle on the performance of a solar thermal collector," *Energy Conversion and Management,* vol. 78, p. 931–937, 2014.