

## RANCANG BANGUN DAN ANALISIS PERFORMANSI KOLEKTOR SURYA TIPE PLAT DATAR BERSIRIP

Andri M. Sijabat<sup>1</sup>, Himsar Ambarita<sup>2</sup>, Tulus B. Sitorus<sup>3</sup>, Farel H. Napitupulu<sup>4</sup>, Terang UHS Ginting<sup>5</sup>,  
Dian M. Nasution<sup>6</sup>, Farida Ariani<sup>7</sup>, M. Sabri<sup>8</sup>

<sup>1,2,3,4,5,6,7,8</sup>Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Sumatera Utara

E-mail: andri\_marulitua@yahoo.com

### ABSTRAK

Pengeringan merupakan salah satu cara untuk mengurangi kadar air. Proses pengeringan yang umum dikenal adalah penjemuran secara langsung di bawah sinar matahari dan yang paling sering digunakan oleh para petani yang ada di Indonesia untuk mengeringkan hasil pertanian mereka. Cara ini masih sangat konvensional dan memiliki banyak kendala salah satunya adalah factor cuaca. Cuaca yang tidak menentu akan sangat mempengaruhi kualitas dari hasil panen yang dijemur. Kadar air yang terlalu tinggi akibat panas yang tidak cukup untuk mengurangi kadar air akan memicu berkembangnya mikroba atau jamur yang dapat mengakibatkan pembusukan. Oleh karena itu, dirancang sebuah alat untuk dapat membantu petani memaksimalkan pengeringan hasil pertanian mereka.

Alat yang dirancang adalah kolektor surya tipe plat datar bersirip dengan ukuran 2 m x 2 m x 0,17 m. Kolektor surya terdiri dari lapisan kayu, sterofoam dan rockwool sebagai isolator, plat aluminium sebagai penyerap panas dan kaca sebagai penutup. Selain kolektor, dirancang juga ruang pengering sebagai tempat pengeringan hasil pertanian dengan ukuran 2 m x 1 m x 1 m. Sampel yang digunakan dalam pengujian alat ini adalah ubi kayu (cassava) dan cabai merah. Besarnya efisiensi kolektor diperoleh dengan melakukan pengujian selama 2 (dua) hari pada kondisi cuaca cerah dan juga melalui analisis perhitungan. Dari hasil analisis yang dilakukan diperoleh panas radiasi rata-rata yang dapat diserap kolektor adalah 1856,755 watt, kehilangan panas rata-rata pada kolektor adalah 442,57 watt dan efisiensi rata-rata dari kolektor surya yang didapat selama proses pengujian adalah 69,70%

*Kata Kunci: Pengeringan, Kolektor Surya, Sirip, Pindahan Panas*

### 1. PENDAHULUAN

Pengolahan pasca panen hasil pertanian atau perkebunan mempunyai peranan penting dalam kehidupan masyarakat Indonesia. Namun kualitas produk pasca panen ini bisa terbilang masih sangat rendah. Ini dikarenakan para petani masih menjemur atau mengeringkan hasil panen secara langsung di bawah sinar matahari dan udara terbuka seringkali terkendala oleh faktor cuaca. Kondisi cuaca yang tidak menentu terutama saat musim hujan akan mengakibatkan proses pengeringan alami berlangsung tidak optimal, menjadikan hasil pertanian berjamur dan rusak karena lembabnya udara. Umumnya kadar air yang tinggi memicu berkembangnya jamur dan mikroba. Tingkat kekeringan yang rendah berdampak pada kualitas dan harga produk. Akibatnya, harga jual produk menjadi rendah dan petani pun mengalami kerugian yang tidak sedikit.

Sebagai negara yang terletak di daerah khatulistiwa, yaitu pada 6 °LU - 11 °LS dan 95 °BT - 141 °BT, dan dengan memperhatikan peredaran matahari dalam setahun yang berada pada daerah 23,5 °LU dan 23,5 °LS akan mengakibatkan suhu di Indonesia cukup tinggi (antara 26 °C - 35 °C) dan bila saat cuaca cerah akan disinari matahari selama 6 - 7 jam dalam sehari. Bagian barat Indonesia mendapat rata-rata radiasi sebesar 4,5 kWh/m<sup>2</sup>/hari dengan variasi bulanan sekitar 10% dan bagian timur 5,1 kWh/m<sup>2</sup>/hari dengan variasi bulanan sekitar 9%. Di lain pihak, pancaran radiasi ini sifatnya periodik setiap hari dan setiap tahunnya secara terus menerus. Bisa disimpulkan bahwa Indonesia memiliki sinar matahari cukup melimpah. Energi matahari juga merupakan sumber energi yang ramah lingkungan karena tidak memancarkan emisi karbon berbahaya yang berkontribusi terhadap perubahan iklim seperti pada bahan bakar fosil. Setiap watt energi yang dihasilkan dari matahari berarti kita telah mengurangi pemakaian bahan bakar fosil, dan dengan demikian kita benar-benar telah mengurangi dampak perubahan iklim.

Melihat dari data tersebut maka dikembangkanlah suatu teknologi tepat guna yang memanfaatkan sinar matahari sebagai energi alternatif dalam bidang pengeringan berupa Pengering Tenaga Surya.

Untuk meningkatkan kinerja dari kolektor surya, perlu untuk dilakukan modifikasi pada kolektor tersebut. Ada beberapa modifikasi yang dapat dilakukan, salah satunya adalah dengan menambahkan sirip pada bidang penyerapan dari kolektor surya tersebut[1]. Dengan cara ini, maka akan diperoleh permukaan perpindahan panas yang lebih luas sehingga energi matahari yang dapat diserap dan dipindahkan ke fluida kerja nantinya akan semakin besar [2].

## 2. TINJAUAN PUSTAKA

### Pengeringan

Pengeringan merupakan salah satu unit operasi energi paling intensif dalam pengolahan pasca-panen. Unit operasi ini diterapkan untuk mengurangi kadar air produk seperti buah-buahan, sayuran dan produk pertanian lainnya setelah panen. Pengeringan adalah proses pemindahan panas dan massa uap air secara simultan yang memerlukan panas untuk menguapkan air dari permukaan bahan tanpa mengubah sifat kimia dari bahan tersebut. Dasar dari proses pengeringan adalah terjadinya penguapan air ke udara karena perbedaan kandungan uap air antara udara dan bahan yang dikeringkan. Laju pemindahan kandungan air dari bahan akan mengakibatkan berkurangnya kadar air dalam bahan tersebut.

Pada prinsipnya, pengeringan bertujuan untuk mengurangi kadar air yang terkandung pada bahan sampai pada kadar air yang diinginkan. Tujuan mengurangi kadar air adalah untuk memperpanjang kehidupan rak-produk bio-asal dengan mengurangi kadar air ke tingkat yang cukup rendah sehingga menghambat pertumbuhan mikroorganisme, reaksi enzimatis, dan reaksi lainnya yang memperburuk produk pertanian tersebut.

Faktor-faktor yang berpengaruh dalam proses pengeringan adalah suhu, kelembaban udara, laju aliran udara, kadar air awal bahan dan kadar air akhir bahan.

### Kolektor Surya

Pengering surya adalah suatu sistem pengering yang memanfaatkan energi surya. Sistem pengering surya terdiri dari dua bagian utama yaitu kolektor surya dan ruang pengering. Kolektor surya adalah suatu alat yang dapat mengumpulkan atau menyerap radiasi surya dan mengkonversikan menjadi panas

Kolektor surya dapat didefinisikan sebagai sistem perpindahan panas yang menghasilkan energi panas dengan memanfaatkan radiasi sinar matahari sebagai sumber energi utama. Kolektor surya yang pada umumnya memiliki komponen-komponen utama, yaitu:

1. *Cover* berfungsi untuk mengurangi rugi panas secara konveksi menuju lingkungan.
2. *Absorber* berfungsi untuk menyerap panas dari radiasi cahaya matahari.
3. Kanal berfungsi sebagai saluran transmisi fluida kerja .
4. Isolator berfungsi meminimalisasi kehilangan panas secara konduksi dari *absorber* menuju lingkungan.
5. *Frame* berfungsi sebagai struktur pembentuk dan penahan beban kolektor.

### Tinjauan Perpindahan Panas

Perpindahan panas terjadi karena ada perbedaan temperatur. Perpindahan panas dapat terjadi melalui 3 cara, yaitu konduksi, konveksi dan radiasi dan ketiga hal tersebut terjadi pada kolektor surya ini[3].

Konduksi adalah proses perpindahan panas yang mengalir dari benda yang bertemperatur lebih tinggi ke benda yang bertemperatur lebih rendah melalui benda penghubung yang diam (tidak dalam mengalir).

Laju perpindahan panas konduksi dapat dinyatakan dengan Hukum Fourier.

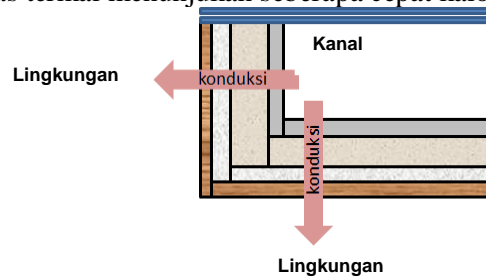
$$Q_c = -kA \frac{dT}{dx} \dots \dots \dots (1)$$

dimana,

$Q_c$  =laju perpindahan panas (Watt)

- $k$  = konduktivitas thermal ( W/m.K)  
 $A$  = luas penampang yang terletak pada aliran panas ( $m^2$ )  
 $\frac{dT}{dx}$  = gradien temperatur dalam aliran panas (K/m)

Nilai angka konduktifitas thermal menunjukkan seberapa cepat kalor mengalir dalam bahan tertentu.



Gambar 1 Perpindahan Panas Konduksi Pada Kolektor

Konveksi merupakan proses perpindahan panas dari benda yang bertemperatur lebih tinggi ke benda yang bertemperatur lebih rendah melalui media, dimana media tersebut haruslah memiliki sifat fluida (konduktivitas thermal, kalor spesifik dan densitas).

Untuk laju perpindahan panas dapat dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut

$$Q_h = hA(T_s - T_\infty) \dots\dots\dots(2)$$

dimana,

- $h$  = koefisien konveksi ( $W/m^2.K$ )  
 $A$  = luas permukaan kolektor surya ( $m^2$ )  
 $T_s$  = temperatur dinding (K)  
 $T_\infty$  = temperatur udara lingkungan (K)  
 $Q_h$  = laju perpindahan panas (Watt)

Radiasi adalah proses perpindahan panas dari benda bertemperatur tinggi ke benda bertemperatur rendah dimana tidak diperlukan zat atau benda penghubung, serta panas memancar dengan cara radiasi gelombang elektromagnetik. Perpindahan panas radiasi pada alat ini terjadi pada *absorber* kolektor surya. Peristiwa radiasi yang dipancarkan oleh matahari, dan dikonversikan dalam bentuk panas terjadi pada plat *absorber* serta adanya pengaruh dari emisifitas permukaan benda hitam (plat *absorber*).

Perpindahan panas secara radiasi dirumuskan sebagai berikut

$$Q_r = \varepsilon \cdot \sigma \cdot A \cdot (T_1^4 - T_2^4) \dots\dots\dots(3)$$

dimana,

- $Q_r$  = laju perpindahan panas radiasi (W)  
 $\varepsilon$  = emisivitas panas permukaan ( $0 \leq \varepsilon \leq 1$ )  
 $\sigma$  = konstanta Stefan Boltzmann ( $5,67 \times 10^{-8} W/m^2K^4$ )  
 $A$  = luas permukaan ( $m^2$ )

### 3. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian dilakukan pada bulan Januari 2014 sampai dengan bulan Mei 2014. Kegiatan penelitian ini mencakup perancangan dan pembuatan alat, pengujian sampai dengan pengambilan dan

pengolahan data. Lokasi penelitian bertempat di Gedung Magister Pascasarjana Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Sumatera Utara.

### Perancangan Alat dan Pemilihan Bahan

Alat pengering yang dibuat ini terdiri atas 3 bagian besar, yakni ruang pengering sebagai tempat proses terjadinya pengeringan, kolektor surya sebagai pengumpul panas matahari dan kaki penyangga sebagaiudukan dari ruang pengering dan kolektor surya.

Pada kolektor surya juga dilakukan perancangan terhadap plat *absorber* dengan sifat bahan yang digunakan, yakni absorptivitas tinggi ( $\alpha$ ), emisifitas panas rendah ( $\epsilon$ ), kapasitas panas kecil ( $C_p$ ), konduktifitas besar ( $k$ ), refleksi rendah ( $\rho$ ), tahan panas dan tahan korosi, kaku dan mudah dibentuk dan ada di pasaran.

Kemudian perancangan kaca penutup dengan sifat bahan yang digunakan, yakni, transmisivitas tinggi ( $\tau$ ), absorptivitas rendah ( $\alpha$ ), reflektivitas rendah ( $\rho$ ), tahan panas dan ada di pasaran dan kuat. Dan yang terakhir adalah perancangan isolasi dengan sifat bahan, yakni konduktifitas termal bahan ( $k$ ) kecil, mudah dibentuk dan praktis, harga murah, ada dipasaran, dan tahan lama. Isolasi yang dirancang pada kolektor surya terdiri dari 3 lapisan, tujuannya adalah agar dapat mengurangi panas yang terbuang ke lingkungan akibat perpindahan panas konduksi.

## 4. RANCANG BANGUN DAN HASIL

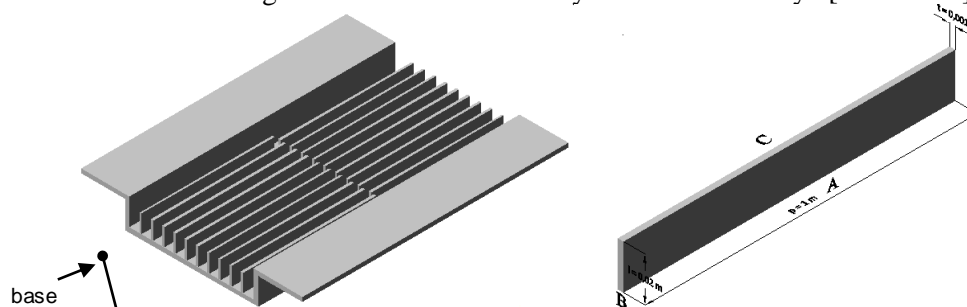
### Rancang Bangun Alat

Pada rancang bangun ini, rangka alat pengering memiliki dimensi panjang 2 m, lebar 1 m dan dengan mempertimbangkan kemiringan kolektor  $45^\circ$ , maka tinggi dari rangka adalah  $\pm 1,414$  m.

Lemari pengering memiliki dimensi panjang 2 m, lebar 1 m dan tinggi 1 m. Lemari pengering dilapisi isolator berbahan fiber pada bagian samping dan atas yaitu acrylic dengan ketebalan 2 mm dan jarak antara lemari pengering dan acrylic 20 mm, sedangkan pada bagian bawah lemari pengering diberi isolator sterofoam. Tujuan diberikannya isolator ini untuk menjaga kalor yang diperoleh dari kolektor dan akibat radiasi sinar matahari pada dinding dapat ditahan, tidak langsung terbuang ke lingkungan dari dinding lemari pengering ketika matahari mulai terbenam sehingga efisiensi alat pengering pun tinggi. Pada lemari pengering terdapat rak-rak bertingkat tempat bahan uji sebanyak 4 rak dengan bahan kasa yang dibingkai dengan besi holo 16 dan cerobong sebagai keluarnya udara dan uap air hasil dari pengeringan.

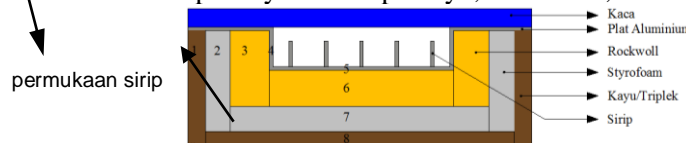
Kolektor surya pada rancang bangun ini adalah tipe plat datar bersirip. Panjang dari kolektor surya adalah 2 m dengan lebar 2 m.

Berikut ini adalah gambar detail kolektor surya beserta ukurannya [dalam mm].



Gambar 2 Sirip Kolektor

Kolektor surya terdiri atas 4 lapisan yaitu berupa kayu, sterofoam, rockwool dan plat aluminium.

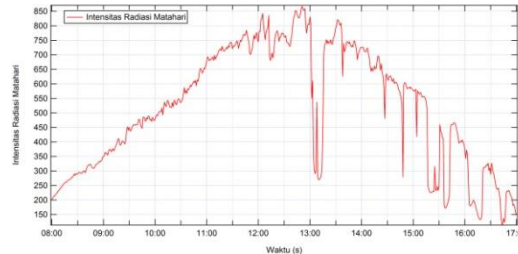


Gambar 3 Penampang Kolektor Surya

## Perhitungan dan Hasil

Pada penelitian ini, perhitungan dan hasil data diperoleh dari pengujian alat yang dilakukan sebanyak 2 kali yaitu pada tanggal 25 Maret 2014 dan 10 April 2014 pada saat kondisi cuaca cerah. Berikut ini grafik intensitas radiasi matahari pada 2 kali pengujian.

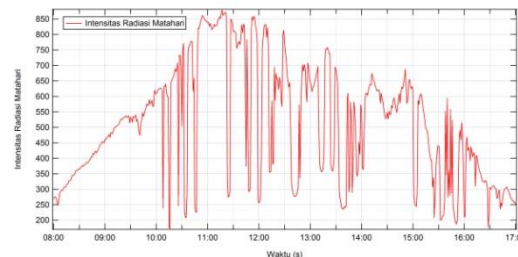
### 1. Tanggal 25 Maret 2014



Gambar 4 Grafik Intensitas Radiasi Matahari Tanggal 25 Maret 2014

Gambar 4 menunjukkan grafik intensitas radiasi matahari. Terlihat kondisi cuaca dari pagi sekitar pukul 08.00 WIB hingga tengah hari sekitar pukul 13.00 WIB cuaca sangat cerah. Namun dari sekitar pukul 13.00 WIB hingga sore hari kondisi cuaca cerah hanya terkadang terjadi penurunan intensitas radiasi matahari seketika dan naik lagi dan ke jam-jam berikutnya terlihat naik-turunnya radiasi matahari. Besarnya intensitas radiasi matahari rata-rata adalah sebesar  $515,9973 \text{ W/m}^2$ .

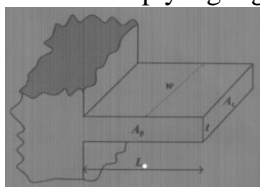
### 2. Tanggal 10 April 2014



Gambar 5 Grafik Intensitas Radiasi Matahari Tanggal 10 April 2014

Gambar 5 merupakan grafik kondisi cuaca atau intensitas radiasi matahari. Sesuai dengan yang terlihat pada grafik adalah cerah namun radiasi matahari mengalami lonjakan yang tiba-tiba hampir seharian penuh. Besarnya intensitas radiasi matahari rata-rata adalah sebesar  $468,2892 \text{ W/m}^2$ .

Besarnya panas yang masuk dan diserap oleh kolektor surya bergantung pada besarnya luas penampang kolektor tersebut yang merupakan luas bidang penyerapan panas. Karena kolektor yang digunakan bersirip maka besarnya luas bidang penyerapan panas pada kolektor juga semakin bertambah[4]. Berikut perhitungan luas penampang kolektor dengan penambahan sirip. Besarnya efisiensi sirip yang digunakan pada kolektor surya adalah sebagai berikut:



Spesifikasi sirip:

$$\begin{aligned} w &= 1 \text{ m} \\ L &= 0,02 \text{ m} \\ t &= 0,0007 \end{aligned}$$

Menghitung luas permukaan masing-masing sirip dan luas total ( $A_t$ )

- Luas permukaan 1 sirip ( $A_s$ )

$$\begin{aligned} A_s &= 2wl + 2lt + wt \\ &= 2(1 \text{ m} \times 0,02 \text{ m}) + 2(0,02 \text{ m} \times 0,0007 \text{ m}) + (1 \text{ m} \times 0,0007 \text{ m}) \\ &= 0,040728 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

- Luas permukaan base ( $A_b$ )

$$\begin{aligned}
 A_{b1} &= 1,7613 \text{ m} \times 1 \text{ m} - 10(2lt + wt) \\
 &= 1,7613 \text{ m}^2 - 10\{2(0,02 \text{ m} \times \\
 &\quad 0,0007 \text{ m}) + (1 \text{ m} \times 0,0007 \text{ m})\} \\
 &= 1,75402 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_{b2} &= 1,7613 \text{ m} \times 1 \text{ m} - 9(2lt + wt) \\
 &= 1,7613 \text{ m}^2 - 9\{2(0,02 \text{ m} \times \\
 &\quad 0,0007 \text{ m}) + (1 \text{ m} \times 0,0007 \text{ m})\} \\
 &= 1,754748 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_b &= A_{b1} + A_{b2} = 1,75402 \text{ m}^2 + 1,754748 \text{ m}^2 \\
 &= 3,508768 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

Maka diperoleh luas permukaan total ( $A_t$ )

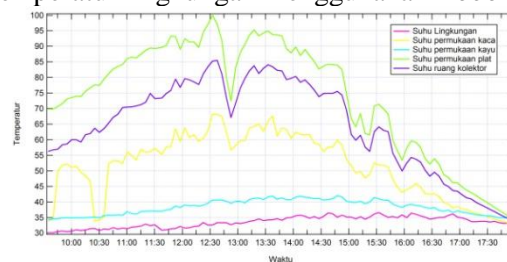
$$\begin{aligned}
 A_t &= NA_s + A_b = 19(0,040728 \text{ m}^2) + 3,508768 \text{ m}^2 \\
 &= 4,2826 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

Selain hanya mengukur intensitas radiasi yang diserap oleh kolektor, juga diukur temperatur yang terjadi di dalam kolektor. Temperatur yang diukur pada kolektor adalah pada plat absorber, ruang kolektor, kayu, kaca dan temperatur lingkungan. Dari pengukuran yang dilakukan maka akan diperoleh perhitungan terhadap panas masuk ke dalam kolektor, panas yang diserap oleh kolektor dan juga panas yang hilang atau yang terbuang ke lingkungan dan dari hal-hal tersebut maka diperoleh besarnya efisiensi kolektor.

Berikut adalah grafik hasil pengukuran dan hasil perhitungan pada saat pengujian selama 2 hari.

#### 1. Pengujian tanggal 25 Maret 2014

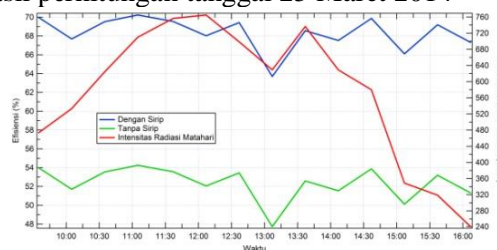
Untuk mengukur besarnya temperatur yang terjadi pada kolektor menggunakan Agilent 34972 A, sedangkan untuk temperatur lingkungan menggunakan *Hobo Microstation Data Logger*.



Gambar 6 Grafik Waktu vs Temperatur Tanggal 25 Maret 2014

Gambar 6 merupakan grafik waktu vs temperatur yang terjadi pada kolektor. Terlihat bahwa kondisi temperatur yang terjadi pada kolektor adalah yang paling besar adalah temperatur pada plat absorber, diikuti temperatur pada ruang kolektor, pada kaca dan yang paling rendah adalah temperatur pada kayu.

Berikut ini gambar 7, yaitu grafik besarnya intensitas matahari hasil pengukuran berbanding besarnya efisiensi kolektor hasil perhitungan tanggal 25 Maret 2014

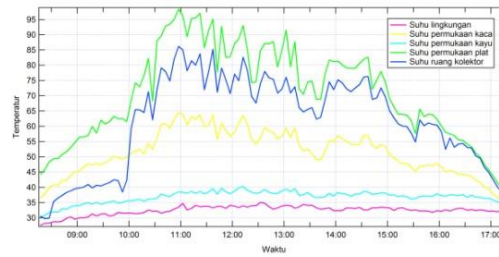


Gambar 7 Grafik Intensitas Radiasi Matahari vs Waktu vs Efisiensi Kolektor Bersirip dan Tanpa Sirip tanggal 25 Maret 2014



Gambar 7 memperlihatkan besarnya efisiensi kolektor tetap stabil walaupun terjadi beberapa penurunan namun tidak terpengaruh oleh kenaikan maupun penurunan intensitas radiasi matahari.

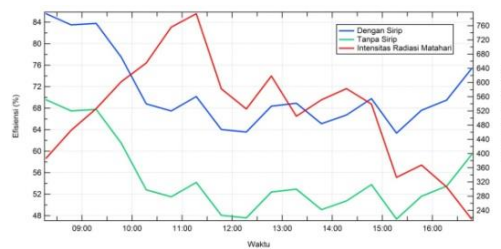
## 2. Pengujian tanggal 10 April 2014



Gambar 8 Grafik Waktu vs Temperatur tanggal 10 April 2014

Gambar 8 memperlihatkan bahwa temperatur kolektor tetap yang paling besar adalah pada plat absorber dan yang paling rendah pada kayu dan terlihat temperaturnya naik turun hanya saja tidak begitu jauh kenaikan dan penurunan yang terjadi.

Berikut ini adalah gambar 9, yaitu grafik besarnya intensitas matahari hasil pengukuran berbanding besarnya efisiensi kolektor hasil perhitungan tanggal 10 April 2014



Gambar 9 Grafik Waktu vs Intensitas Radiasi Matahari dan Efisiensi Kolektor Bersirip dan Tanpa Sirip tanggal 10 April 2014

Sama halnya dengan pengujian pada tanggal 25 Maret 2014 terlihat bahwa besarnya efisiensi kolektor tetap stabil walaupun terjadi beberapa penurunan namun tidak terlalu dipengaruhi oleh kenaikan maupun penurunan intensitas radiasi matahari.

## 5. KESIMPULAN

Adapun kesimpulan dari rancang bangun ini adalah:

1. Telah dirancang bangun sebuah alat pengering dengan menggunakan kolektor surya tipe plat datar bersirip menyilang sebagai penghasil panas. Adapun ukuran kolektor surya adalah 2 m x 2 m x 0,169 m yang tersusun atas 4 lapisan yaitu kayu (triplek), sterofoam, rockwool sebagai isolator dan plat alumunium sebagai penyerap panas, sedangkan ukuran sirip adalah 1 m x 0,02 m x 0,001 m sebanyak 19 sirip, terbuat dari plat alumunium yang disusun menyilang. Dalam rancang bangun ini dibuat juga sebuah ruang pengering sebagai ruang pengeringan dan peletakan produk yang akan dikeringkan yang disusun di atas rak/tray dengan ukuran ruang pengering adalah 2 m x 1 m x 1 m. Pada sisi luar ruang pengering dilapisi dengan *fiber* yaitu *acrylic* dengan jarak 2 cm dari dinding ruang pengering yang bertujuan untuk menahan panas yang masuk tidak terbang ke lingkungan akibat perubahan temperatur ketika matahari mulai terbenam. Dan satu komponen lagi yang dibuat adalah rangka yang berfungsi sebagai tempat kedudukan ruang pengering dan tumpuan kolektor dengan ukuran 2 m x 1 m x 1,414 m
2. Dari hasil perhitungan yang dilakukan, maka diperoleh prestasi kerja dari pada alat pengering sebagai berikut:
  - a. panas hilang dari kolektor ( $Q_{\text{loss}}$ ) = 442,57 watt

- b. panas masuk ke kolektor  
( $Q_{in}$ ) = 1856,755 watt
- c. efisiensi experimental ( $\eta$ ) rata-rata kolektor = 69,70%

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Sucipta, Made, I Made Suardama-na dan Ketut Astawa, 2010 (88-92). *Analisis Performa Kolektor Surya Pelat Bersirip Dengan Variasi Luasan Permukaan Sirip*, Jurnal Ilmiah, Teknik Mesin.
- [2] Duffie, John A. and William A. Beckman. 1980. *Solar Engineering of Thermal Processes 2th Edition*, Madinson: John & Sons, Inc. New York.
- [3] Holman, J.P., 1994 *Perpindahan Kalor*, Ahli bahasa Ir.E. Jasjfi M.Sc., Penerbit Eelangga.
- [4] Ambarita, Himsar, DR. Eng, 2011. *Perpindahan Panas Konduksi (Penyelesaian Analitik dan Numerik)*, Buku Kuliah, Teknik Mesin Program Sarjana, USU
- [5] Philip Kristanto dan Yoe Kim San. 2001. *Pengaruh Tebal Plat dan Jarak antar Pipa terhadap Performansi Kolektor Surya Plat Datar*. Universitas Kristen Petra