



Artikel Penelitian

Analisis Kinerja Pengering Surya *Photovoltaic Thermal* (PV/T) Pada Kondisi Tanpa Beban

Een Tonadi^a, Adjar Pratoto^b^a Mahasiswa S2 Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Andalas, Padang^b Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Andalas, Padang

INFORMASI ARTIKEL

Sejarah Artikel:

Diterima Redaksi: 03 September 2019

Revisi Akhir: 25 September 2019

Diterbitkan Online: 04 Oktober 2019

KATA KUNCI

Pengering surya

Tipe rak

Fotovoltaik/termal

Karakteristik termal

Tanpa beban

KORESPONDENSI

E-mail: een_tonadi@yahoo.com

A B S T R A C T

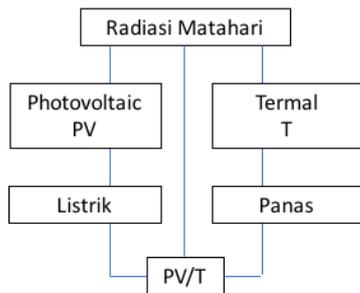
The present paper is concerned with experimental study of thermal performance of a Photovoltaic/Thermal (PV/T) tray dryer. The PV/T tray dryer considered consists of a solar cell module of 100 W_p integrated with a cabinet dryer. The cabinet dryer is covered with transparent UV plastics allowing direct heating from solar radiation. The cooling air of the solar cell is used as drying medium and circulated by solar cell powered DC fans. The experiment was performed under no load condition at different weather conditions, i.e. on a cloudy day and a clear day. During the experiment, the daily average solar radiation and ambient temperature are respectively 324,7 W/m² and 26,5°C (cloudy day) and 727 W/m² and 27,9°C (clear day). The maximum air temperatures attained in the dryer chamber are 34,4°C (cloudy day) and 40,5 °C (clear day). There is air temperature variation among the trays, however the variation is insignificant, only at the order of 1-3°C.

1. PENDAHULUAN

Pemanfaatan energi matahari sebagai sumber energi terbarukan yang ramah lingkungan masih terus dikembangkan. Sejak dahulu panas matahari sudah dimanfaatkan para petani untuk pengeringan produk-produk pertanian melalui penjemuran secara langsung. Hasil pengeringan produk pertanian atau bahan pangan lainnya melalui penjemuran langsung umumnya berkualitas rendah bila ketersediaan cahaya matahari kurang, seperti pada musim-musim hujan. Selain itu pada penjemuran secara langsung, produk juga berpotensi terkontaminasi oleh debu dan kontaminan lainnya, yang pada gilirannya akan menurunkan higienitasnya.

Alat pengering surya dengan berbagai tipe telah banyak dikembangkan guna memaksimalkan pemanfaatan panas (termal) dari radiasi matahari. Salah satu inovasi dalam pemanfaatan energi surya dalam pengeringan adalah dengan pemanfaatan perangkat fotovoltaik (PV/T). Pengering PV/T merupakan gabungan pengering dengan panel surya sehingga menghasilkan panas dan listrik secara bersamaan [1]. Perangkat fotovoltaik digunakan untuk menghasilkan listrik dari radiasi matahari. Energi radiasi yang tidak terkonversi menjadi listrik didisipasikan menjadi panas. Panas tersebut akan meningkatkan suhu modul fotovoltaik dan akan menurunkan efisiensi. Untuk mengembalikan performa fotovoltaik, dilakukan pendinginan, misalnya dengan mengalirkan udara ke perangkat fotovoltaik. Udara yang membawa panas dari modul

fotovoltaik tersebut akan mengalami peningkatan suhu. Suatu panel surya akan menyerap lebih dari 80% energi surya, namun yang dapat dikonversi menjadi listrik maksimum sekitar 20% [2]. Sisa energi panas yang diserap tersebut, akan meningkatkan suhu panel surya dan dapat menyebabkan penurunan efisiensi energi listrik yang dihasilkan oleh panel surya [3]. Dengan demikian, perangkat fotovoltaik dengan pendinginan dapat menghasilkan listrik dan udara panas (fotovoltaik/termal, *photovoltaic/ thermal*, PV/T). Panas yang dihasilkan dari PV/T tersebut dapat dimanfaatkan untuk pengeringan, pemanasan atau kebutuhan lain. Untuk pengeringan, energi listrik dari fotovoltaik dapat digunakan untuk menggerakkan kipas ruang pengering dan kegunaan lain seperti lampu untuk penerangan pada malam hari. Gambar 1 memperlihatkan skema penggabungan dari *photovoltaic thermal*.



Gambar 1. Skema *Photovoltaic Thermal*

Banyak desain pengering PV/T yang telah diujicobakan oleh para peneliti terdahulu. Pertama, pengering PV/T tipe rak bertingkat dengan konstruksi kolektor terpisah dengan ruang pengering yang dikembangkan oleh Sajith dan Muraleedharan [4]. PV/T ini dilengkapi dengan sebuah blower untuk menyalurkan udara panas dari kolektor ke ruang pengering. pengering PV/T ini menggunakan panel surya 100 W_p. Pengujian dilakukan terhadap buah amla yang dimulai dari jam 8 pagi sampai jam 5 sore. Hasil menunjukkan bahwa pengeringan buah amla menggunakan pengering PV/T lebih baik dibandingkan dengan pengeringan langsung. Kajian ekonomi menunjukkan bahwa periode pengembalian modal adalah 5,66 tahun. Nilai tersebut jauh lebih kecil bila dibandingkan dengan umur alat yang bisa mencapai 20 tahun [5].

Tiwari, dkk [6] mengembangkan pengering PV/T tipe rumah kaca (*greenhouse*) tanpa rak dan tanpa kolektor. Pengering PV/T ini menggunakan panel

surya berdaya 100 W_p dan dilengkapi dua buah kipas DC 12 volt. Mereka melaporkan bahwa nilai teoritik dan eksperimental energi thermal masing-masing didapat sebesar 1,92 kW dan 2,03 kW. Ada kecocokan antara nilai teoritis dengan eksperimen dan kelebihan lainnya adalah kualitas sampel yang dikeringkan karena dapat mengurangi pemudaran warna produk [6]. Dari analisis *exgoeconomic* pengering PV/T yang dilakukan, didapatkan bahwa secara teoritis energi panas tahunan adalah sebesar 1182,19 kWh, energi listrik 191,53 kWh dan keseluruhan energi panas adalah sebesar 1686,22 kWh. Selanjutnya exergi thermal didapat sebesar 16,52 kWh dan exergi tahunan secara keseluruhan sebesar 208,05 kWh. Keunggulan lainnya adalah bahwa pengering PV/T tersebut dapat bekerja di semua kondisi cuaca karena menggunakan radiasi matahari baik langsung dan maupun radiasi baur (*diffuse*). Periode pengembalian modal didapat 1,23 tahun dan pengurangan dampak CO₂ pada lingkungan selama 25 tahun yaitu sebesar 81,75 ton dengan nilai 817,50 Dolar [7].

Desain lain dikembangkan oleh Othman, dkk [8] yang membuat pengering PV/T dengan kolektor *double pass* serta penambahan sirip sebagai *absorber*. Penelitian dilakukan dengan pemodelan matematika dan eksperimen. Hasilnya menunjukkan bahwa penggunaan sirip sebagai bagian yang terintegrasi dengan absorber penting dipasang untuk mencapai efisiensi *thermal* dan listrik dari PV/T. Jenis kolektor PV/T *single pass* dan *double pass* dengan saluran atas bawah telah banyak diujicobakan oleh para peneliti sebelumnya [9–12]. Penelitian perbandingan antara kolektor PV/T *single pass* dan *double pass* telah banyak dilakukan dan hasilnya menunjukkan kinerja kolektor PV/T *double pass* lebih baik dari *single pass* [13]. Kemudian, Goh, dkk. [14] melakukan eksperimen kolektor PV/T *single pass* dengan penambahan konduktor panas saluran persegi panjang dipasang secara paralel dengan kolektor. Efisiensi *thermal* dari kolektor PV/T tersebut jauh lebih baik dibandingkan dengan kolektor surya tanpa saluran konduktor panas. Penelitian tersebut menghasilkan efisiensi *photovoltaic* sebesar 10,02%, *thermal* 54,70% dan semuanya 64,72% pada radiasi matahari sebesar 817,4 W/m² dengan laju aliran massa 0,0287 kg/s dan suhu lingkungan sebesar 25°C. Penelitian ini bertujuan menganalisis kinerja dari sebuah alat

pengering surya PV/T tipe rak bertingkat pada kondisi tanpa beban untuk beberapa kondisi cuaca.

2. METODOLOGI

Pengering surya PV/T yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari dua bagian utama yaitu satu buah modul panel surya 100 W_p dan ruang pengering dengan 3 buah rak di dalamnya. Kolektor PV/T ini memiliki dimensi: panjang 1400 mm x lebar 900 mm x tinggi 115 mm. Sedangkan, panel surya berukuran panjang 1250 mm dan lebar 808 mm dan tebal 35 mm. Listrik yang dihasilkan oleh panel surya digunakan untuk menggerakkan 2 buah kipas DC. Panel surya juga berfungsi sebagai

absorber panas radiasi matahari. Panel surya dipasang pada kemiringan 11° menghadap ke arah utara. Untuk meminimalkan rugi panas, dinding bagian dalam kolektor dipasang dengan isolator panas dan dilapisi dengan aluminium foil serta dipasang kaca penutup dengan ketebalan 5 mm.

Ruang pengering dilengkapi 3 buah rak berukuran 1200 mm x 820 mm x 50 mm yang disusun bertingkat. Konstruksi rangka alat ini menggunakan besi *hollow* ukuran 30 mm x 30 mm dan 20 x 20 mm dan dinding ruang pengering terbuat dari plastik UV (*ultra violet*) transparan dengan ketebalan 0,8 mm seperti ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Perangkat pengering surya PV/T tipe rak

Pengujian alat dilaksanakan pelataran atap gedung Jurusan Teknik Mesin Unand Lantai 4. Dalam pengujian, dipilih dua jenis kondisi cuaca, yaitu kondisi mendung (tanggal 28 November 2017) dan kondisi cerah (tanggal 21 Desember 2017).

Pengujian dilakukan dari jam 08.00 WIB sampai dengan jam 17.00 WIB. Untuk menetralkan pengaruh suhu dari lantai beton karena beton bersifat *thermal mass* maka di sekeliling area pengujian dipasang karpet. Intensitas cahaya

diukur menggunakan *solar power meter tipe SL 100*. Suhu diukur menggunakan termokopel tipe T yang dihubungkan ke *thermometer scanning 12 channel*. Arus dan tegangan keluaran panel surya diukur menggunakan multi meter digital dan kelembaban udara lingkungan diukur dengan menggunakan *humidity meter tipe AMT 116*.

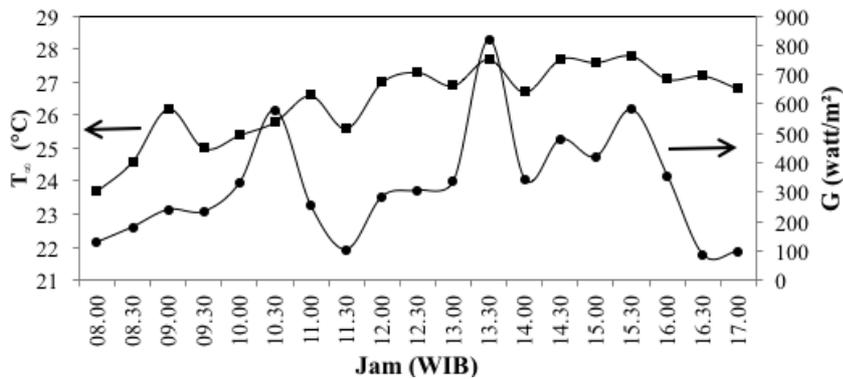
Pengambilan data dilakukan setiap 30 menit selama pengujian dengan parameter-parameter yang diamati adalah sebagai berikut:

1. Intensitas Cahaya (watt/m^2);

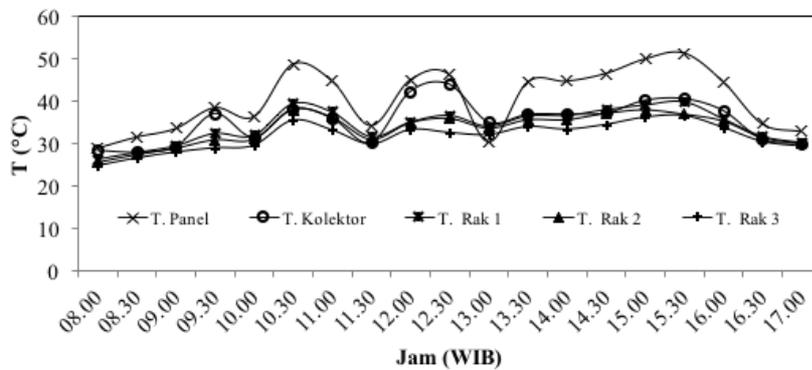
2. Suhu udara lingkungan ($^{\circ}\text{C}$);
3. Suhu udara kolektor ($^{\circ}\text{C}$);
4. Suhu permukaan panel surya ($^{\circ}\text{C}$);
5. Suhu udara rak 1, rak 2 dan rak 3 ($^{\circ}\text{C}$);
6. Arus (I) (ampere);
7. Tegangan (V) keluaran panel surya (volt).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

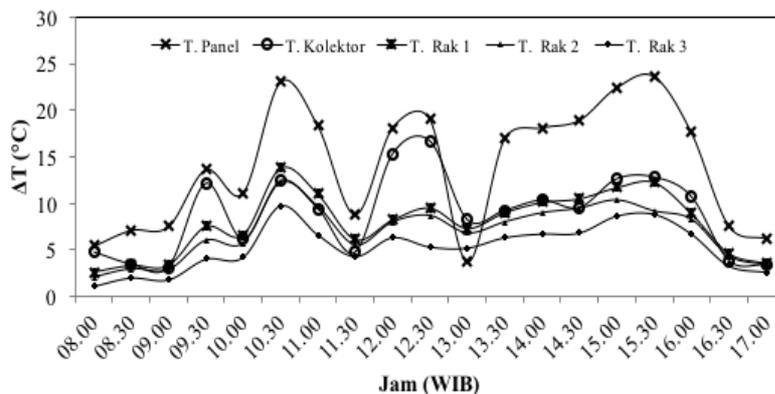
Hasil pengujian menunjukkan intensitas cahaya matahari yang fluktuatif berpengaruh terhadap suhu ruang pengering surya PV/T.



(a) Fluktuasi suhu sekeliling dan intensitas radiasi matahari terhadap waktu



(b) Suhu pada berbagai posisi pengering sebagai fungsi dari waktu



(c) Beda suhu pada berbagai posisi pengering dengan suhu sekeliling

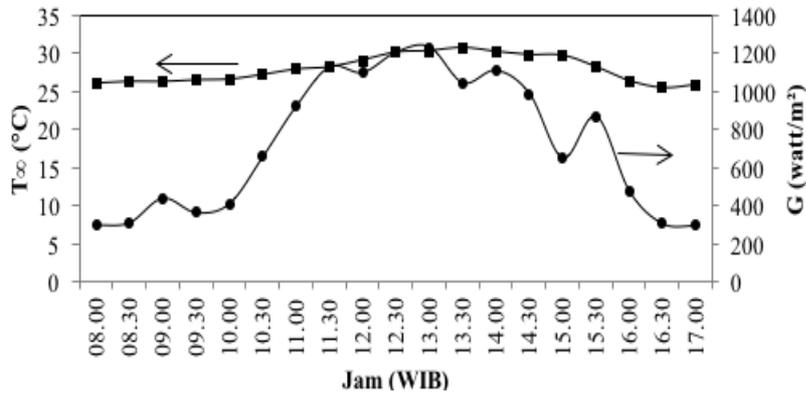
Gambar 3. Hubungan Intensitas Cahaya dengan Suhu Pada Kondisi Cuaca Mendung

Gambar 3 menunjukkan hubungan intensitas cahaya matahari dengan suhu sekeliling, suhu-suhu pada berbagai posisi dalam pengering, dan perbedaan suhu dalam pengering dengan suhu sekeliling pada kondisi cuaca mendung. Pada kondisi cuaca tersebut, rata-rata harian intensitas cahaya matahari adalah senilai 324,7 watt/m² dengan suhu lingkungan rata-rata senilai 26,5°C (Gb.3a). Dari Gambar 3b dapat dilihat bahwa suhu rata-rata panel surya 40,5 °C, suhu rak 1 sebesar 34,4 °C, rak 2 sebesar 33,4 °C dan suhu rata-rata pada rak 3 senilai 31,7 °C. Perubahan suhu kolektor dan panel surya sangat signifikan hubungannya dengan perubahan intensitas cahaya matahari karena kolektor dan panel surya terpapar langsung oleh sinar matahari. Sementara rata-rata suhu udara kolektor, suhu udara rak 1, rak 2 dan rak 3 terlihat tren menurun dari rak paling atas atau yang paling dekat dengan kolektor ke rak paling bawah dengan perbedaan suhu yang kecil yaitu 1 – 2 °C. Hal ini menunjukkan bahwa udara panas dari kolektor ke ruang pengering cukup baik dengan kehilangan panas yang kecil, namun panas di ruang pengering tersebut juga bersumber dari dinding-dinding ruang pengering yang didesain terbuat dari plastik UV transparan. Profil perbedaan suhu ruang pengering dengan suhu sekeliling berbanding lurus dengan suhu yang bisa dicapai ruang pengering. Pada Gambar 3c memperlihatkan kenaikan suhu yang dapat dicapai relatif terhadap suhu sekeliling. Dari gambar tersebut terlihat bahwa pada rak 1 rata-rata beda suhu yang bisa dicapai adalah 7,9 °C, rak 2 rata-rata senilai 7 °C serta rak 3 sebesar 5,3 °C atau secara umum terdapat kenaikan-suhu rata-rata sebesar 6,7°C. Adapun, kenaikan suhu tertinggi yang dapat dicapai adalah sekitar 25°C.

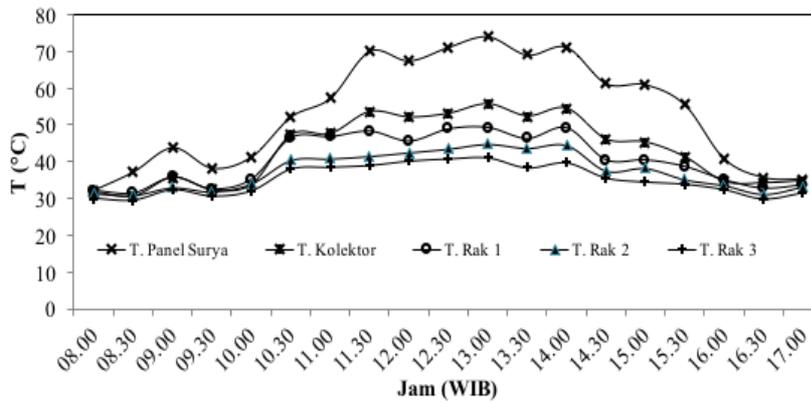
Pada kondisi cuaca cerah suhu ruang pengering PV/T juga berfluktuatif mengikuti intensitas cahaya matahari. Intensitas cahaya rata-rata pada kondisi cuaca tersebut adalah sebesar 727 watt/m² dengan suhu lingkungan rata-rata senilai 27,9 °C (Gambar 4a). Suhu rata-rata harian pada rak 1 diperoleh sebesar 40,5 °C (kenaikan suhu udara 12,5 °C), rak 2 senilai 37,4 °C (kenaikan suhu

udara 9,4 °C) dan pada rak 3 suhu sebesar 35,1°C (kenaikan suhu udara 7,2 °C) (Gambar 4b dan 4c). Secara umum, terdapat kenaikan-suhu rata-rata sebesar 9,7°C. Kemudian untuk rata-rata harian suhu udara kolektor yaitu sebesar 42,9 °C, dengan kenaikan suhu udara senilai 15,0 °C dan suhu panel surya sebesar 53,4 °C dengan kenaikan suhu udara senilai 25,4°C. Sebagaimana halnya dengan kondisi cuaca mendung, pada kondisi cuaca cerah rata-rata perbedaan suhu kolektor, rak 1, 2 dan rak 3 konsisten antara 1 – 3 °C. Suhu rata-rata harian kolektor adalah sebesar 42,9 °C dan suhu panel rata-rata mencapai sebesar 53,4 °C. Artinya bahwa baik pada cuaca mendung maupun pada cuaca cerah profil perbedaan suhu setiap rak alat pengering PV/T ini tetap konsisten. Untuk mengatasi perbedaan suhu rak pada ruang pengering maka perlu dilakukan pergantian posisi rak secara berkala setiap 2 atau 3 jam sekali selama pengeringan, agar panas yang diterima setiap rak dapat maksimal.

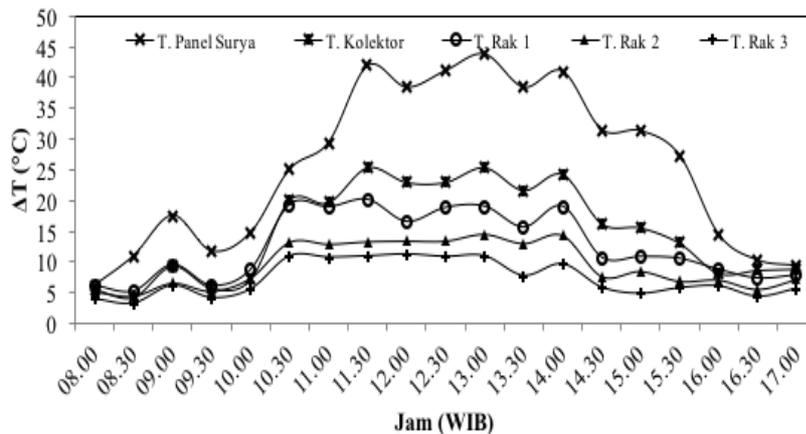
Pengeringan juga dipengaruhi oleh kelembaban relatif udara lingkungan. Gambar 5a memperlihatkan profil hubungan intensitas cahaya matahari dengan kelembaban relatif udara lingkungan pada kondisi cuaca mendung. Rata-rata nilai kelembaban relatif (RH) udara lingkungan adalah sebesar 61%, RH tertinggi yaitu sebesar 79% yaitu pada jam 08.00 pagi, dan RH terendah senilai 43% pada jam 10.30 WIB. Pada profil tersebut juga terlihat bahwa perubahan kelembaban udara juga dipengaruhi oleh intensitas cahaya. Selanjutnya pada cuaca cerah rata-rata harian kelembaban udara jauh lebih kecil dibandingkan pada kondisi cuaca mendung yaitu senilai 54,3%. Kelembaban tertinggi yaitu senilai 65,9% jam 08.00 pagi dan terendah sebesar 31,3% pada jam 13.30 siang seperti pada gambar 5 (b). Dari profil tersebut terlihat bahwa intensitas cahaya berbanding terbalik dengan kelembaban udara, semakin tinggi intensitas cahaya, maka kelembaban udara semakin turun. Namun di sisi lain, kelembaban udara juga dipengaruhi kondisi cuaca pada malam harinya, apakah terjadi hujan atau tidak.



(a) Fluktuasi suhu sekeliling dan intensitas radiasi matahari terhadap waktu



(b) Suhu pada berbagai posisi pengering sebagai fungsi dari waktu



(c) Beda suhu pada berbagai posisi pengering dengan suhu sekeliling

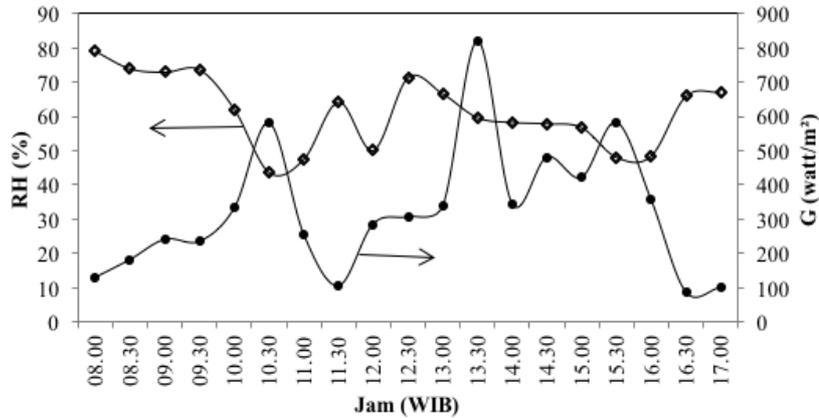
Gambar 4. Hubungan Intensitas Cahaya dengan Suhu pada Kondisi Cuaca Cerah

Selanjutnya arus dan tegangan keluaran panel surya pada pengering PV/T ini didapat bahwa arus rata-rata harian yang diperoleh pada cuaca mendung adalah sebesar 1,84 ampere dengan tegangan rata-rata senilai 18,70 volt. Pada kondisi cuaca cerah arus rata-rata harian yang diperoleh mencapai 4,10 ampere dengan tegangan rata-rata sebesar 19,04 volt. Pada Gb. 6 diperlihatkan variasi daya keluaran dari modul panel sel surya

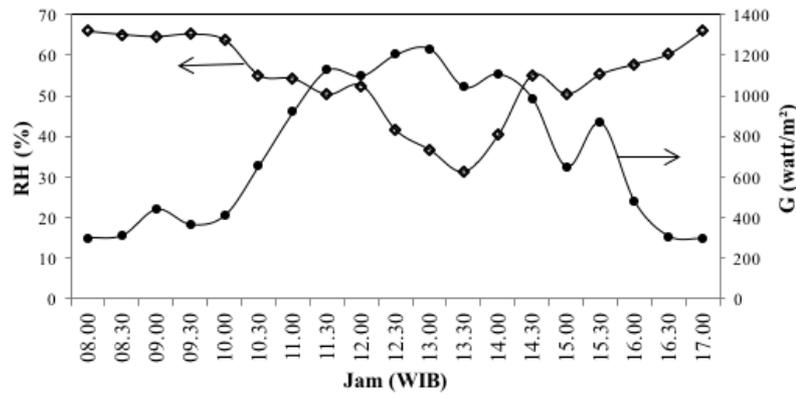
terhadap intensitas radiasi matahari. Secara umum, profil antara daya keluaran modul panel sul surya dengan profil intensitas radiasi matahari tersebut mendekati berimpit sehingga rasio antara skala daya keluaran dengan skala intensitas radiasi tersebut dapat ditafsirkan sebagai efisiensi konversi energi dari modul panel sel surya. Pada cuaca mendung rata-rata harian daya yang dihasilkan adalah sebesar 34,7 watt, sedangkan

pada kondisi cuaca cerah daya yang diperoleh adalah sebesar 78,1 watt. Artinya bahwa semakin besar intensitas cahaya yang diterima oleh panel surya, maka semakin besar pula daya yang

dihasilkan oleh panel surya. Rata-rata daya tersebut cukup besar jika dibandingkan dengan kebutuhan 2 buah kipas outlet yang berdaya 24 watt.

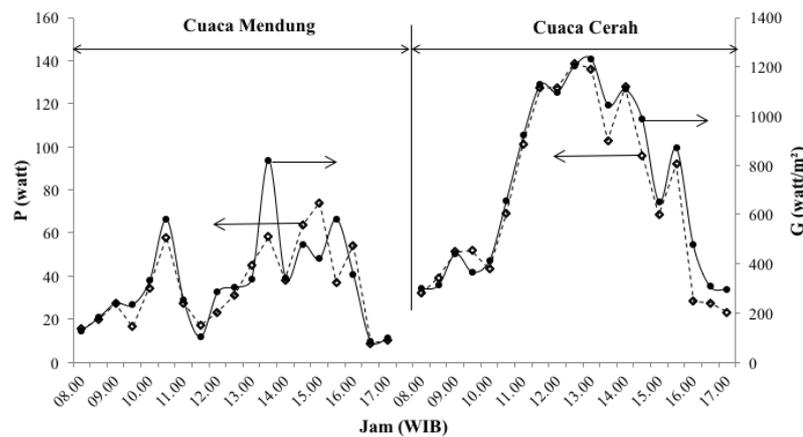


(a) Kondisi cuaca mendung



(b) Kondisi cuaca cerah

Gambar 5 Kelembaban Udara pada Kondisi Cuaca Mendung dan Cerah



Gambar 6. Hubungan intensitas cahaya dengan daya panel surya

Hal itu menunjukkan bahwa kelebihan daya tersebut bisa dimanfaatkan untuk kebutuhan lain seperti pengisian baterai, namun perlu dirancang

perangkat tambahan untuk pemanfaatan daya tersebut.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa pengering PV/T tipe *green house* dengan rak bertingkat ini memiliki potensi untuk diterapkan sebagai perangkat pengering walaupun dalam kondisi cuaca yang kurang baik. Hal itu terlihat dari perolehan kanikan suhu di berbagai posisi pengering relatif terhadap suhu sekeliling. Suhu tertinggi dicapai pada rak yang paling dekat dengan kolektor (panel sel surya) atau rak 1, sedangkan terendah pada rak paling bawah atau rak 3. Untuk praktik pengeringan produk, bagian yang paling atas umumnya akan lebih cepat kering. Untuk mendapatkan keseragaman laju pengeringan antar rak, perlu dilakukan pergantian posisi produk yang dikeringkan pada masing-masing rak secara berkala. Rata-rata daya yang dihasilkan jauh lebih besar dari kebutuhan panel 2 buah kipas *outlet* pengering, sehingga kelebihan daya tersebut dapat dimanfaatkan untuk kebutuhan lain. Karakteristik suhu dan daya keluaran dari pengering PV/T ini berfluktuatif mengikuti intensitas cahaya matahari.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Y. Tripanagnostopoulos, T. Nousia and M. Souliotis. "Hybrid photovoltaic/thermal solar systems," *Solar Energy*, vol. 72, pp. 217-34.
- [2] M.R. Patel. *Wind and Solar Power Systems*, Taylor and Francis Group, 2006, pp. 447.
- [3] H. Mortezapour. "Performance analysis of a two-way hybrid photovoltaic/thermal solar collector," *Journal of Agriculture Science and Technology*, vol. 14, pp. 767-780.
- [4] K.G. Sajith and C. Muraleedharan. "A study on drying of amla using a hybrid solar dryer," *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology (IJIRSET)*, vol. 2, pp. 1.
- [5] S. Tiwari, G.N. Tiwari, I.M and Al-Helal. "Performance analysis of photovoltaic-thermal (PVT) mixed mode greenhouse solar dryer," *Solar Energy*, vol. 133, pp. 421- 428.
- [6] S. Tiwari and G.N. Tiwari. "Exergoeconomic analysis of photovoltaic-thermal (PVT) mixed mode greenhouse solar dryer," *Energy*, vol. 114, pp. 155-164.
- [7] K.G. Sajith and C. Muraleedharan. "Economic analysis of a hybrid photovoltaic/thermal solar dryer for drying amla," *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)* vol. 3. Issue 8.
- [8] M.Y. Othman, Y. Baharuddin, S. Kamaruzzaman and M.A.B. Nazari. "Performance studies on a finned double-pass photovoltaic-thermal (PV/T) solar collector," *Desalination*, vol. 209, pp. 43-49.
- [9] J. Prakash. "Transient analysis of a photovoltaic-thermal solar collectors for cogeneration of electricity and hot air/water," *Energy Conversion Management*, vol. 35, pp. 967-972.
- [10] K. Sopian, K.S. Yigit, H.T. Liu, S. Kakac and T.N. Veziroglu. "Performance analysis of photovoltaic thermal air heaters," *Energy Conversion Management*, vol. 37, pp. 1657-1670.
- [11] H.P. Garg, R.K. Agarwal and A.K. Bhargava. "Study of a hybrid solar system-solar air heater combined with solar cells," *Energy Conversion Management*, vol. 31, pp. 471-479.
- [12] C.H. Cox and S.C. Raghuraman. "Design considerations for flat-plate photovoltaic/thermal collectors," *Solar Energy*, vol. 35, pp. 237-242.
- [13] A.A. Hegazy. "Comparative study of the performances of four photovoltaic/thermal solar air collectors," *Energy Conversion Management*, vol. 41, pp. 861-881.
- [14] L.J. Goh, R. Hafidz, M. Sohif, Y. Othman, Z. Azami and S. Kamaruzzaman. "Experiment study on single -pass photovoltaic-thermal (PV/T) air collector with absorber," Tersedia di <https://www.researchgate.net/publication/262245583>, Diakses tanggal 25 November 2016.

NOMENKLATUR

Simbol	Arti	Satuan
G	intensitas radiasi	W/m ²
I	Arus listrik	ampere
P	Daya listrik	watt
PV/T	Photovoltaic Thermal	-
RH	Kelembaban relatif	%
T	Suhu	°C
T _∞	Suhu lingkungan	°C
V	Tegangan	volt