

Rancang Bangun dan Pengujian *Prototype Hybrid Solar Dryer*

Agus Jamaldi^{1*}, Emanuel Budi Raharjo², Edi Surwono¹, Lewi Yordan Santoso¹, Ryan Catur Prasajo¹

¹Program Studi Teknik Mesin Teknik Mesin, ²Program Studi Teknik Elektro

Sekolah Tinggi Teknologi "Warga" Surakarta

Jl Raya Solo-Baki Kwarasan Sukoharjo 57552 Jawa Tengah

*E-mail Korespondensi: agus.jamaldi@sttw.ac.id

DOI: <https://doi.org/10.21107/rekayasa.v17i2.22673>

Submitted October 16th 2023, Accepted March 27th 2024, Published August 15th 2024

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk menguji *prototype solar dryer* dengan menggunakan mekanisme pengeringan *hybrid*. Model pengeringan langsung dan tidak langsung digunakan pada penelitian ini. Pengeringan tidak langsung dilakukan dengan bantuan *solar collector*. *Solar collector* berfungsi untuk menyerap panas yang ditangkap oleh *black body* didalamnya. Dua tipe *solar collector* yang digunakan yaitu plat datar dan plat bergelombang. Selanjutnya udara panas dari *solar collector* dihembuskan secara paksa oleh *blower* menuju ruang pengeringan. *Blower* beroperasi dengan menggunakan energi listrik yang dihasilkan oleh panel surya berjenis *monocrystalline* dengan kapasitas daya 100 watt. Pengamatan berfokus pada suhu bagian *solar collector* dan ruang pengeringan serta luasan listrik yang dihasilkan oleh panel surya. Hasil pengujian menunjukkan suhu tertinggi yang dicapai *solar collector* dengan plat bergelombang sebesar 50,5°C, sedangkan plat datar sebesar 49,6°C. Selanjutnya daya listrik tertinggi yang dihasilkan oleh panel surya sebesar 11,33 Watt.

Kata Kunci: pengeringan, panel surya, daya listrik, plat datar

Abstract

This study aims to test the prototype solar dryer using a hybrid drying mechanism. The study utilized direct and indirect drying models. The indirect drying used solar collectors. Solar collector serves to absorb heat captured by the black body inside. The solar collector media used are flat plates and corrugated plates. The hot air from the solar collector is blown and forced by the blower into the drying chamber. Blowers operate using electrical energy generated by solar panels. The experiment lasted for two days from 09.00 a.m. to 03.00 p.m. The observations focused on the temperature of the solar collector and the drying chamber as well as the output of electricity generated by the solar panels. The test results showed the highest temperature reached by the solar collector with a corrugated plate was 50.50°C, while the flat plate was 49.60°C. Furthermore, the highest electrical power produced by solar panel was 11.33 Watts.

Key words: dryer, solar panel, electric power, flat panel

PENDAHULUAN

Kekurangan pangan di negara-negara berkembang menjadi salah satu masalah penting yang menjadi perhatian. Pada sektor pertanian masalah terjadi ketika hasil pertanian kurang optimal karena teknik penanganan pasca panen seperti penyimpanan, transportasi, pemrosesan, pengemasan, dan pemasaran yang kurang tepat. Namun, kerusakan ini dapat diminimalkan dengan teknik pasca panen yang tepat seperti *cold storage*, pengeringan, pemrosesan, infrastruktur, pengemasan, sistem pemasaran dan lainnya (Kitinoja *et al.*, 2011; Aravindh & Sreekumar, 2015).

Teknik pengeringan merupakan salah satu metode efektif untuk mengurangi masalah kerugian pasca panen (Esper & Miihlbauer, 1998). Energi matahari merupakan sumber energi terbarukan yang dapat digunakan untuk mengeringkan hasil pertanian yang ramah lingkungan dan efektif (Pido *et al.*, 2019; Sultan *et al.*, 2021). Pengeringan di bawah sinar matahari secara langsung masih banyak digunakan secara luas di seluruh dunia meskipun banyak kelemahannya, hal ini karena menjemur secara langsung tidak memerlukan biaya dan efektif, namun sangat tergantung dengan kondisi cuaca (Jayasuriya *et al.*, 2023) serta adanya kehilangan kualitas dari produk (Lingayat *et al.*, 2020; Sreekumar *et al.*, 2008).

Kerugian paling umum dari pengeringan matahari langsung yaitu berkurangnya kualitas produk yang disebabkan oleh serangan serangga, hilangnya senyawa penting, reaksi enzimatis, pertumbuhan mikroorganisme, dan produksi mikotoksin (Jain & Tewari, 2015; Tiwari & Tiwari, 2016; Tomar *et al.*, 2017). Selain itu, berkurangnya kualitas produk dikarenakan prosedur dan perawatan yang tidak konsisten.

Metode pengeringan lain yang banyak digunakan yaitu menggunakan teknik pengering surya. Pengering surya dapat membantu mengatasi beberapa masalah terkait pengeringan di bawah sinar matahari langsung. Banyak peneliti telah mengamati bagaimana teknologi pemanfaatan energi matahari dapat digunakan untuk mengeringkan suatu produk. Hasil yang didapat yaitu dengan mengatur secara cermat, kandungan air dari produk menguap dengan cepat ke tingkat saturasi, sehingga didapatkan kualitas produk yang unggul (Al-Hamdani *et al.*, 2022).

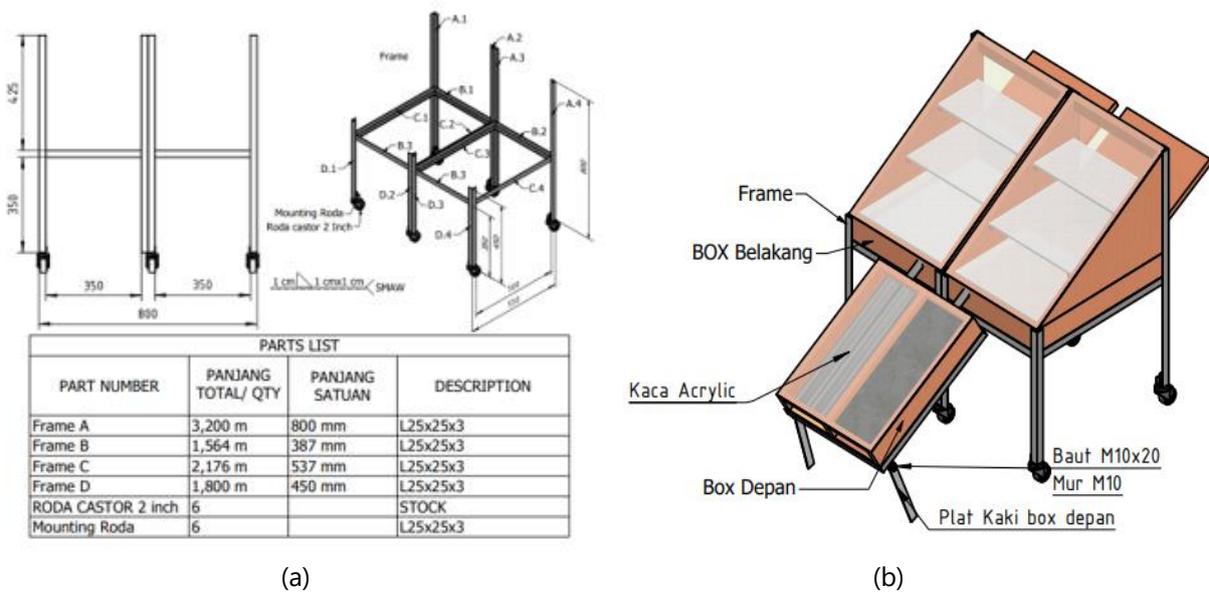
Pengering surya secara umum terdiri dari komponen kolektor surya dan ruang pengering yang dapat disusun secara terpisah atau gabungan. Pengering surya diklasifikasikan berdasarkan pada mode pemanasan dan sirkulasi udara yang digunakan. Dua mode pemanasan utama yaitu, langsung dan tidak langsung. Dalam mode langsung, produk secara langsung terkena radiasi matahari. Pada mode tidak langsung, pengeringan produk terjadi karena adanya hembusan udara panas yang berasal dari kolektor surya. Selain itu, terdapat model pengering kombinasi, yaitu gabungan dari mode langsung dan tidak langsung (Ayua *et al.*, 2017). Sirkulasi udara yang terjadi pada pengering surya dapat terjadi baik secara alami yang disebabkan oleh daya apung ataupun aliran paksa dengan menggunakan kipas. Ditinjau dari parameter dan laju pengeringan, sirkulasi udara paksa lebih baik daripada sirkulasi udara alami (Lingayat *et al.*, 2020; Barnwal & Tiwari, 2008; Perg & Convers, 1995). Selain itu, pengeringan secara alami membutuhkan waktu lebih lama dan dapat memperburuk kualitas akhir produk (Sweelem *et al.*, 2013).

Sirkulasi udara paksa juga sering disebut dengan pengering surya aktif, dimana dalam pengoperasiannya memerlukan energi listrik sebagai sumber utama penggerak kipas. Hal ini menjadi kelemahan dari pengering surya aktif. Namun saat ini telah banyak terobosan baru yang dikembangkan oleh para peneliti dengan menggunakan kemajuan teknologi, salah satunya yaitu pemanfaatan sel surya sebagai penghasil energi listrik yang digunakan pada pengering surya (Lamnatou *et al.*, 2012; Eltawil *et al.*, 2018; Tiwari *et al.*, 2016). Hidar *et al.* (2020) menyelidiki pengeringan daun stevia dengan menggunakan pengering surya. Hasil yang didapat yaitu seiring meningkatnya suhu udara pengering menyebabkan terjadinya penurunan pada kandungan fenolik dan klorofil dari sampel yang diamati. Sebuah penelitian lainnya menunjukkan bahwa pengeringan daun *fenugreek* menggunakan pengering surya menghasilkan asam askorbat dan klorofil total yang lebih tinggi dibandingkan dengan pengeringan di bawah sinar matahari secara langsung (Singh *et al.*, 2021).

Proses pengeringan mungkin juga berdampak negatif terhadap kualitas produk. Beberapa diantaranya yaitu warna dan kandungan di dalam produk sangat sensitif terhadap suhu (Lingayat *et al.*, 2020; Sreekumar *et al.*, 2008). Faktor lain yang berpengaruh yaitu difusivitas kelembaban material. Nilai difusivitas tergantung pada kondisi yang ada dalam material itu sendiri. Berdasarkan hasil tinjauan penelitian terdahulu maka penelitian tentang *indirect solar dryer* penting untuk diteliti lebih lanjut. Penggunaan panel surya menjadi alternatif solusi penghasil energi listrik yang digunakan untuk menggerakkan kipas. Distribusi suhu pada bagian *solar collector* dan ruang pengering menjadi tolak ukur kinerja *indirect solar dryer* dibandingkan dengan pengeringan secara langsung di bawah sinar matahari terbuka.

METODE PENELITIAN

Penelitian diawali dengan membuat desain 3D *prototype hybrid solar dryer*. Proses desain menggunakan *software desain SolidWorks*. Desain *prototype indirect solar dryer* untuk gambar 2D dan 3D masing-masing ditunjukkan pada Gambar 2 dan 3. Dimensi *prototype indirect solar dryer* memiliki ukuran panjang total 800 mm, lebar 550 mm, dan tinggi 800 mm. *Prototype* ini terdiri dari dua komponen utama, yakni bagian *solar collector* dan bagian ruang pengering. Pada ruang pengering terdapat 3 buah rak bertingkat untuk menempatkan material yang akan dikeringkan. Rak terbuat dari lembaran plat berlubang. Bagian atas ruang pengering ditutup dengan menggunakan kaca bening. Tujuan penggunaan kaca bening ini adalah untuk menangkap sinar matahari langsung sehingga dapat menambah panas yang masuk ke ruang pengeringan.



Gambar 1. (a) Desain 2D *hybrid solar dryer*; (b) Desain 3D *hybrid solar dryer*

Pada bagian *solar collector* terdapat plat datar dan bergelombang yang berfungsi untuk menyerap panas dari pancaran sinar matahari. Suhu panas yang dihasilkan dari *solar collector* disalurkan ke dalam ruang pengering secara paksa dengan menggunakan bantuan hembusan angin dari *blower*. Hembusan angin dari *blower* ini bertujuan untuk mempercepat proses perpindahan panas secara konveksi dari udara panas ke material di dalam ruang pengering. Sumber energi listrik untuk mengoperasikan *blower* berasal dari energi listrik yang dihasilkan dari panel surya. Spesifikasi dari panel surya yang digunakan yaitu memiliki daya maksimum 100 Watt berjenis *monocrystalline*. Panel surya ini dipasang secara terpisah dari *solar dryer*, dengan penggunaan panel surya ini maka energi listrik dapat dipasok secara terus menerus selama matahari masih bersinar. Kinerja *prototype hybrid solar dryer* diamati dengan menggunakan parameter utama yaitu distribusi suhu pada bagian *solar collector* dan ruang pengering. Pengukuran dan pengambilan data menggunakan alat *thermohygrometer*. Pengambilan data dilakukan selama 2 hari mulai dari pukul 09.00 pagi sampai 15.00 sore dengan interval pengambilan data tiap 1 jam. Selanjutnya data suhu dari *prototype hybrid solar dryer* ini dibandingkan dengan suhu lingkungan guna mengetahui kinerjanya.

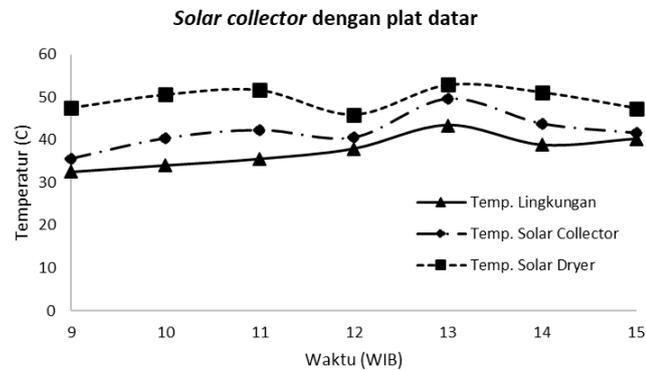
HASIL PEMBAHASAN

Distribusi suhu pada *solar collector* dengan menggunakan plat datar

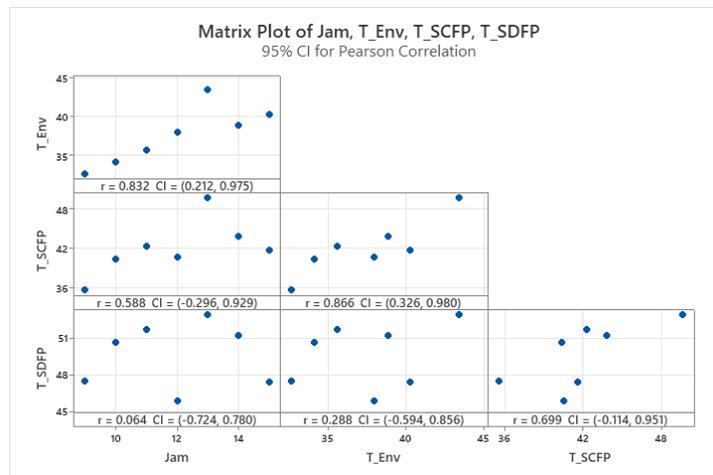
Dari hasil pengujian dapat diketahui bahwa distribusi suhu pada bagian *solar collector* lebih tinggi dibandingkan dengan suhu lingkungan. Gambar 2 menunjukkan perbandingan suhu lingkungan, *solar collector* dan ruang pengering ketika menggunakan plat datar. Begitu pula distribusi suhu pada bagian ruang pengering (*solar dryer*) lebih tinggi dari suhu *solar collector* dan lingkungan. Perbedaan suhu seiring dengan perbedaan waktu pengambilan data memiliki trend yang sama, baik untuk suhu lingkungan, *solar collector* maupun *solar dryer*. Suhu lingkungan tertinggi terjadi pada pukul 13.00 WIB yakni sebesar 43,4°C. Selanjutnya untuk suhu tertinggi yang mampu dicapai *solar collector* dan ruang pengering sebesar 49,6°C dan 52,9°C yang dicapai juga pada pukul 13.00 WIB.

Hasil analisis statistik uji korelasi antara variabel suhu lingkungan, *solar collector* dan suhu *solar dryer* saat menggunakan *solar collector* jenis plat datar ditampilkan pada Gambar 3. Hasil analisis statistik menunjukkan hal yang selaras dengan analisis grafis. Korelasi suhu lingkungan terhadap suhu *solar dryer* menunjukkan hasil positif lemah dengan nilai 0,288 dan korelasi suhu *solar collector* plat datar terhadap suhu *solar dryer* menunjukkan kecenderungan positif kuat dengan nilai 0,699. Hubungan positif antar variabel yang diteliti mengindikasikan bahwa semakin tinggi suhu lingkungan dan suhu *solar collector* plat

datar maka semakin tinggi pula suhu *solar dryer*. Nilai koefisien korelasi yang tinggi semakin mendekati nilai maksimalnya yaitu +1 mengindikasikan bahwa *solar collector* plat datar memiliki pengaruh lebih tinggi terhadap suhu akhir *solar dryer* jika dibandingkan dengan suhu lingkungan. Pengaruh positif kuat dari suhu lingkungan terhadap suhu *solar collector* terlihat dari nilai koefisien korelasinya yang bernilai 0,866.



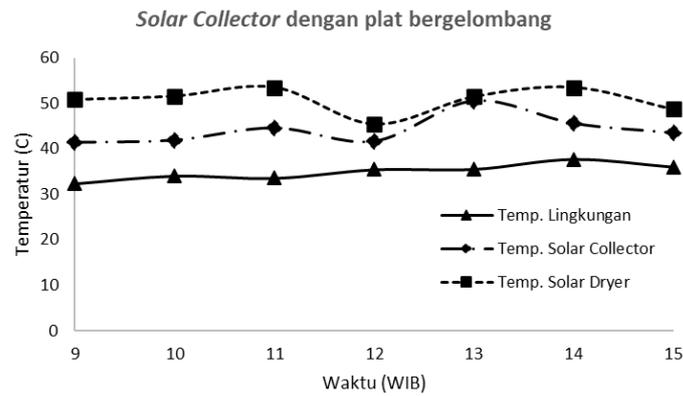
Gambar 2. Perbandingan suhu lingkungan, *solar collector* dan *solar dryer*



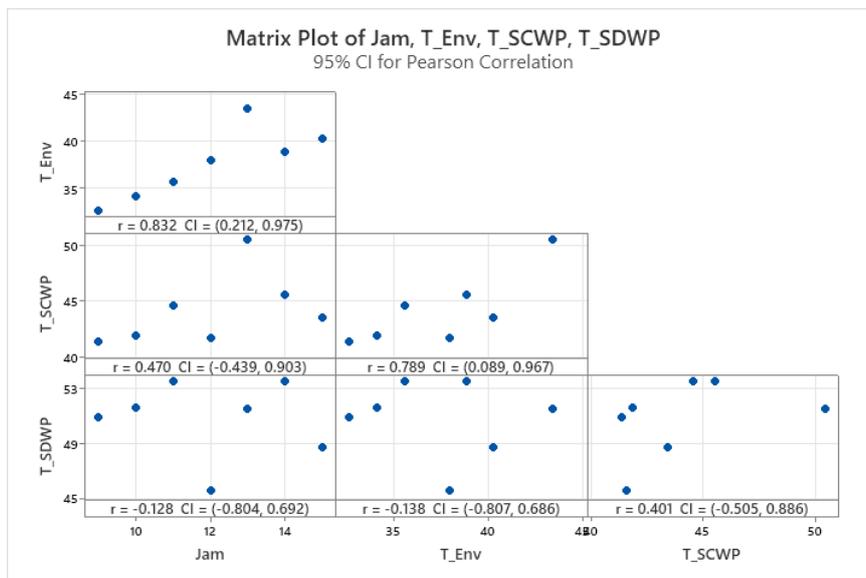
Gambar 3. Hasil analisis statistik suhu lingkungan, *solar collector* plat datar dan *solar dryer*

Distribusi suhu pada *solar collector* dengan menggunakan plat bergelombang

Gambar 4 menunjukkan perbandingan suhu lingkungan, *solar collector* dan ruang pengering ketika menggunakan plat bergelombang. Dari hasil pengujian dapat diketahui bahwa distribusi suhu pada bagian *solar collector* lebih tinggi dibandingkan dengan suhu lingkungan. Begitu pula distribusi suhu pada bagian ruang pengering (*solar dryer*) lebih tinggi dari suhu *solar collector* dan lingkungan. Suhu lingkungan tertinggi terjadi pada pukul 14.00 WIB yakni sebesar 37,7°C. Selanjutnya untuk suhu tertinggi yang mampu dicapai *solar collector* dan ruang pengering sebesar 50,5°C pada pukul 13.00 WIB dan 53,5°C yang dicapai juga pada pukul 11.00 WIB dan 14.00 WIB. Sementara itu, Gambar 5 menunjukkan hasil analisis statistik uji korelasi antara variabel suhu lingkungan, *solar collector* dan suhu *solar dryer* saat menggunakan *solar collector* jenis plat bergelombang. Hasil analisis statistik menunjukkan hal yang selaras dengan analisis grafis. Korelasi suhu lingkungan terhadap suhu *solar dryer* menunjukkan hasil negatif lemah dengan nilai 0,138 dan korelasi suhu *solar collector* plat bergelombang terhadap suhu *solar dryer* menunjukkan kecenderungan positif dengan nilai 0,401. Suhu lingkungan menunjukkan pengaruh suhu yang terbalik namun lemah terhadap suhu *solar dryer* sedangkan suhu *solar collector* plat bergelombang mengindikasikan pengaruh positif menengah terhadap suhu *solar dryer*. Hasil uji statistik Gambar 7 kembali menunjukkan kecenderungan pengaruh yang mirip dengan Gambar 5 untuk hal pengaruh suhu lingkungan dengan suhu *solar collector* dengan koefisien korelasi 0,789.



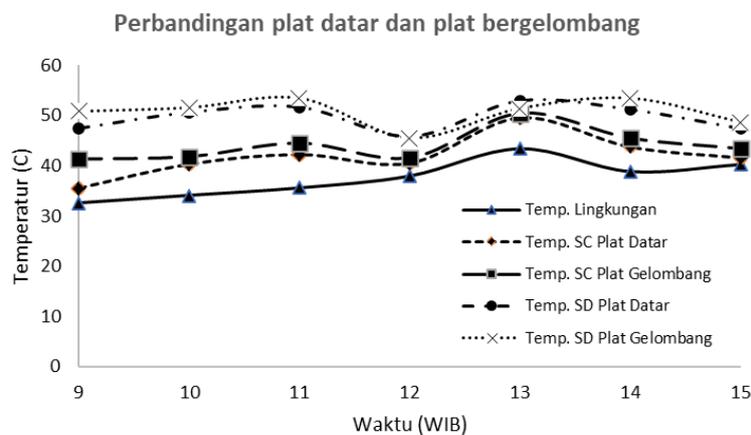
Gambar 4. Perbandingan suhu lingkungan, solar collector dan solar dryer



Gambar 5. Hasil analisis statistik suhu lingkungan, solar collector plat bergelombang dan solar dryer

Perbandingan performa solar collector plat datar dan plat bergelombang

Hasil pengujian solar collector baik yang menggunakan plat datar maupun plat bergelombang terjadi fluktuasi suhu, hal ini dikarenakan kondisi cuaca yang sewaktu-waktu dapat berubah. Penurunan suhu yang terlihat sangat jelas terjadi pada pukul 12.00 WIB, hal ini terjadi karena saat pengujian dilakukan kondisi sinar matahari tertutup awan, sehingga suhu pada bagian solar collector dan ruang pengering drop.

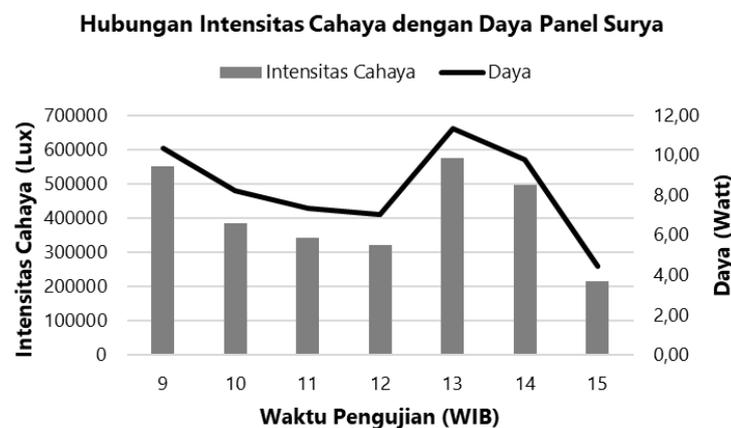


Gambar 6. Perbandingan performa plat datar dan plat bergelombang

Hasil analisis statistik menggunakan uji T dengan nilai alpha 5% ditunjukkan pada Tabel 1 *descriptive statistics*, Tabel 2 *Estimation for Difference* dan Tabel 3 *Test*. Hasil nilai P yang lebih dari 0,05 pada tabel *Test* menunjukkan bahwa secara statistik tidak terdapat cukup bukti untuk dapat menolak H_0 , sehingga dapat disimpulkan bahwa secara statistik tidak terdapat perbedaan signifikan antara rata-rata suhu ruang *solar dryer* saat menggunakan *solar collector* jenis plat datar dan bergelombang. Hal ini diperkuat dengan hasil nilai rata-rata suhu ruang *solar dryer* saat menggunakan *solar collector* jenis plat datar dan bergelombang secara berurutan adalah bernilai 49,57 dan 50,73. Jika hanya melihat pada nilai hasil suhu rata-rata ruang *solar dryer* saja maka dapat disimpulkan bahwa pada saat menggunakan *solar collector* jenis bergelombang suhu ruang *solar dryer* menjadi lebih tinggi.

Daya yang dihasilkan Panel Surya

Gambar 9 menampilkan hubungan intensitas cahaya dengan daya yang dihasilkan oleh panel surya. Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan dapat diidentifikasi bahwa daya yang dihasilkan oleh panel surya terjadi penurunan mulai dari awal pengujian yaitu pada pukul 09.00 WIB sampai pukul 12.00 WIB, rata-rata penurunan daya yang terjadi sebesar 1,09 Watt. Selanjutnya terjadi kenaikan daya yang cukup signifikan pada pukul 13.00 WIB yaitu 60,6% atau sebesar 4,27 Watt kemudian terjadi penurunan kembali sampai akhir waktu pengujian. Daya tertinggi yang dicapai oleh panel surya terjadi pada pukul 13.00 WIB yaitu sebesar 11,33 Watt, dan daya terendah sebesar 4,42 Watt pada pukul 15.00 WIB.



Gambar 7. Hubungan Intensitas Cahaya dengan Daya yang dihasilkan oleh Panel Surya

Faktor yang mempengaruhi energi luaran panel surya meliputi jenis bahan fotovoltai, lokasi geografis radiasi cahaya matahari, suhu lingkungan, kelembapan, sudut datang cahaya matahari dan orientasi arah pemasangan (Al-Rousan *et al.*, 2017). Berdasarkan pemodelan karakteristik arus panel surya dijelaskan bahwa arus luaran panel surya merupakan fungsi dari arus photon yang diperoleh dari cahaya matahari. Mengacu pola data pada Gambar 9 terlihat bahwa daya luaran panel surya berubah seiring dengan terjadinya fluktuasi intensitas cahaya matahari yang diterima dimana hasil ini sesuai dengan landasan teori sebagaimana persamaan berikut (Kaysal, 2016).

$$I = I_{ph} - I_0 \left(\exp \left(\frac{V + IR_s}{N_s V_{TH}} \right) - 1 \right) - \frac{V + IR_s}{R_p}$$

Berdasarkan hasil yang didapatkan fluktuasi intensitas cahaya yang diterima oleh panel surya mempengaruhi nilai daya yang dihasilkan oleh panel surya. Penelitian yang telah dilakukan oleh (Rozak *et al.*, (2023) didapatkan bahwa efek cuaca dan intensitas cahaya berpengaruh terhadap luaran daya yang dihasilkan oleh panel surya. Selaras dengan penelitian yang dilakukan oleh Arifin *et al* (2018) semakin tinggi intensitas cahaya yang diterima panel surya maka daya yang dihasilkan juga semakin tinggi.

KESIMPULAN

Penelitian terkait pengujian kinerja *prototype hybrid solar dryer* telah selesai dilakukan. Hasil pengujian menunjukkan bahwa perbedaan jenis plat pada bagian *solar collector* berpengaruh terhadap panas yang diserap. Plat bergelombang memberikan hasil kinerja lebih baik daripada plat datar. Terjadi fluktuasi distribusi suhu yang terjadi pada bagian *solar collector* maupun pada *solar dryer*, hal ini dikarenakan kondisi cuaca yang berubah-ubah ketika proses pengujian berlangsung. Suhu tertinggi pada *solar collector* dan *solar dryer* masing-masing sebesar 50,5^oC dan 53,5^oC. Selanjutnya untuk daya listrik tertinggi yang dihasilkan oleh panel surya sebesar 11,33 Watt

DAFTAR PUSTAKA

- Al-Hamdani, A., Jayasuriya, H., Pathare, P. B., & Al-Attabi, Z. (2022). Drying Characteristics and Quality Analysis of Medicinal Herbs Dried by an Indirect Solar Dryer. *Foods*, 11(24). <https://doi.org/10.3390/foods11244103>
- Al-Rousan, N., Isa, N. A. M., & Maria K. M. (2017). Advances in solar photovoltaic tracking systems: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.09.077>
- Aravindh, M. A., & Sreekumar, A. (2015). Solar drying—A sustainable way of food processing. *Green Energy and Technology*, 201, 27–46. https://doi.org/10.1007/978-81-322-2337-5_2
- Arifin, Z., Tamamy, A. J., & Amalia. (2018). Potensi Daya 100 watt Solar Panel SHINYOKU di kota Semarang. *Seminar Nasional Teknik Elektro*, 103–106. <https://www.researchgate.net/publication/335790139>
- Ayua, E., Mugalavai, V., Simon, J., Weller, S., Obura, P., & Nyabinda, N. (2017). Comparison of a mixed modes solar dryer to a direct mode solar dryer for African indigenous vegetable and chili processing. *Journal of Food Processing and Preservation*, 41(6). <https://doi.org/10.1111/jfpp.13216>
- Barnwal, P., & Tiwari, G. N. (2008). Grape drying by using hybrid photovoltaic-thermal (PV/T) greenhouse dryer: An experimental study. *Solar Energy*, 82(12), 1131–1144. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2008.05.012>
- Eltawil, M. A., Azam, M. M., & Alghannam, A. O. (2018). Solar PV powered mixed-mode tunnel dryer for drying potato chips. *Renewable Energy*, 116, 594–605. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2017.10.007>
- Esper, A., & Miihlbauer, W. (1998). *Renewable Energy Solar Drying—An Effective Means of Food Preservation*.
- Hidar, N., Ouhammou, M., Mghazli, S., Idlimam, A., Hajjaj, A., Bouchdoug, M., Jaouad, A., & Mahrouz, M. (2020). The impact of solar convective drying on kinetics, bioactive compounds and microstructure of stevia leaves. *Renewable Energy*, 161, 1176–1183. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.07.124>
- Jain, D., & Tewari, P. (2015). Performance of indirect through pass natural convective solar crop dryer with phase change thermal energy storage. *Renewable Energy*, 80, 244–250. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2015.02.012>
- Jayasuriya, H., Pathare, P. B., Al-Attabi, Z., & Al-Hamdani, A. (2023). Drying Kinetics and Quality Analysis of Coriander Leaves Dried in an Indirect, Stand-Alone Solar Dryer. *Processes*, 11(6), 1596. <https://doi.org/10.3390/pr11061596>
- Kaysal, A. (2016). The Design of Two Axis Solar Tracking System Based on Fuzzy Logic Control and Efficiency Analysis. *International Journal of Advanced Research in Electrical, Electronics and Instrumentation Engineering*, 5(12), 8922–8931.
- Kitinoja, L., Saran, S., Roy, S. K., & Kader, A. A. (2011). Postharvest technology for developing countries: Challenges and opportunities in research, outreach and advocacy. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 91(4), 597–603. <https://doi.org/10.1002/jsfa.4295>

- Lamnatou, C., Papanicolaou, E., Belessiotis, V., & Kyriakis, N. (2012). Experimental investigation and thermodynamic performance analysis of a solar dryer using an evacuated-tube air collector. *Applied Energy*, 94, 232–243. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2012.01.025>
- Lingayat, A. B., Chandramohan, V. P., Raju, V. R. K., & Meda, V. (2020). A review on indirect type solar dryers for agricultural crops – Dryer setup, its performance, energy storage and important highlights. In *Applied Energy* (Vol. 258). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.114005>
- Pangavhane, D. R., & Sawhney, R. L. (n.d.). Review of research and development work on solar dryers for grape drying. www.elsevier.com/locate/enconman
- Pido, R., Shanti Dera, N., Rival, M., Abd wahab No, J., & Gorontalo, K. (2019). Analisa Pengaruh Kenaikan Suhu Permukaan Solar Cell Terhadap Daya Output (Vol. 2, Issue 2).
- Rozak, O. A., Mulyadi, R. T., & Nurfadilah, H. (2023). Analysis the Effect of Solar Radiation on the Efficiency of PV Plant 50 KWP Rooftop UNPAM Viktor. *Renewable Energy & Mechanics (REM)*, 6(2), 63–76. [https://doi.org/10.25299/rem.2023.vol6\(02\).12181](https://doi.org/10.25299/rem.2023.vol6(02).12181)
- Singh, S., Gill, R. S., Hans, V. S., & Singh, M. (2021). A novel active-mode indirect solar dryer for agricultural products: Experimental evaluation and economic feasibility. *Energy*, 222. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.119956>
- Sreekumar, A., Manikantan, P. E., & Vijayakumar, K. P. (2008). Performance of indirect solar cabinet dryer. *Energy Conversion and Management*, 49(6), 1388–1395. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2008.01.005>
- Sultan, T. N., Farhan, M. S., & Salim Alrikabi, H. T. H. (2021). Using Cooling System for Increasing the Efficiency of Solar Cell. *Journal of Physics: Conference Series*, 1973(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1973/1/012129>
- Sweelem, E. A., Nafeh, A.-S. A., & Fahmy, F. H. (2013). Sizing and Design of the PV-WIND Energy Dryer for Medical Herbs. *Smart Grid and Renewable Energy*, 04(02), 217–226. <https://doi.org/10.4236/sgre.2013.42027>
- Tiwari, S., & Tiwari, G. N. (2016). Exergoeconomic analysis of photovoltaic-thermal (PVT) mixed mode greenhouse solar dryer. *Energy*, 114, 155–164. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2016.07.132>
- Tiwari, S., Tiwari, G. N., & Al-Helal, I. M. (2016). Performance analysis of photovoltaic-thermal (PVT) mixed mode greenhouse solar dryer. *Solar Energy*, 133, 421–428. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2016.04.033>
- Tomar, V., Tiwari, G. N., & Norton, B. (2017). Solar dryers for tropical food preservation: Thermophysics of crops, systems and components. *Solar Energy*, 154, 2–13. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2017.05.066>