

Evaluasi Kinerja Mesin Pengering Surya Type Kolektor Pelat Datar Sebagai Pengering Cabai yang Efektif

Roy Lamrun Sianturi^{1*}, Wilson S Nababan¹, Suriady Sihombing¹

¹ Universitas HKBP Nommensen Medan

email: roy.sianturi@uhn.ac.id

Abstract

This study investigated the effectiveness of a solar dryer utilizing a Flat Plate Collector system to dry chili peppers. This study aimed to assess the efficiency of the dryer under various environmental conditions. In this study, the aim was to assess the efficiency and lighting performance of chili peppers utilizing solar energy with a flat plate collector (FCP) system. A 2 m x 0.8 m collector was used to collect solar energy, which was then channeled into a drying chamber containing three stainless steel racks. Experiments showed that the dryer was capable of producing temperatures up to 80°C. Measurements of solar radiation and humidity showed a close relationship between daytime solar intensity and ideal drying conditions. The drying rate followed a typical pattern of solar drying, with a fast initial phase followed by a slower phase. The drying efficiency peaked during the day. These results validate the Dryer design as a potential solution for efficient and sustainable drying of agricultural products. Further research will focus on design and material optimization.

Keywords: Solar dryer, Flat plate collector, Chili dryer, Thermal efficiency, Moisture removal rate.

Abstrak:

Studi ini menyelidiki efektivitas mesin pengering tenaga surya yang memanfaatkan sistem Kolektor Pelat Datar untuk pengeringan cabai. Studi ini bertujuan untuk menilai efisiensi pengering dalam berbagai kondisi lingkungan. Dalam studi ini, bertujuan untuk menilai efisiensi dan mengevaluasi kinerja pengering cabai yang memanfaatkan energi matahari dengan sistem kolektor pelat datar Kolektor berukuran 2 meter x 0,8 meter digunakan untuk menangkap energi matahari, yang kemudian dialirkan ke ruang pengeringan berisi tiga rak baja tahan karat. Eksperimen menunjukkan bahwa pengering mampu menghasilkan suhu hingga 80°C. Pengukuran radiasi matahari dan kelembaban menunjukkan hubungan erat antara intensitas matahari siang hari dan kondisi pengeringan yang ideal. Laju pengeringan mengikuti pola tipikal pengeringan tenaga surya, dengan fase awal yang cepat diikuti fase yang lebih lambat. Efisiensi pengering mencapai puncaknya pada siang hari. Hasil ini memvalidasi desain pengering sebagai solusi potensial untuk pengeringan hasil pertanian yang efisien dan berkelanjutan. Penelitian lebih lanjut akan difokuskan pada optimasi desain dan material.

Kata kunci: Pengering tenaga surya, Kolektor pelat datar, Pengering cabai, Efisiensi termal, Laju penghilangan kelembapan.

1. PENDAHULUAN

Peningkatan perhatian global terhadap praktik berkelanjutan dalam pertanian mendorong pengembangan metode pengawetan yang efisien dan ramah lingkungan. Pengeringan surya, khususnya menggunakan pengering surya kolektor pelat datar pasif,

muncul sebagai solusi yang menjanjikan. Teknologi ini memanfaatkan energi matahari untuk menghilangkan kelembapan dari produk pertanian, memperpanjang masa simpan, dan mengurangi kerugian pascapanen. Desain dan optimalisasi parameter pengering, dengan mempertimbangkan kondisi iklim dan sifat produk, sangat penting untuk memaksimalkan efisiensi dan meminimalkan waktu pengeringan. Lebih jauh lagi, Dalam upaya untuk meningkatkan performa pengeringan dan mempersingkat waktu proses, penyesuaian yang optimal pada parameter-parameter desain, termasuk luas area penangkap sinar matahari, ketebalan lapisan insulasi, dan konfigurasi aliran udara, menjadi sangat menentukan. Pengering surya kolektor pelat datar pasif menawarkan alternatif yang berkelanjutan dan hemat biaya untuk pengawetan hasil pertanian.

Beberapa peneliti telah menyelidiki parameter desain yang memengaruhi kinerja pengering surya kolektor pelat datar pasif. Penelitian tentang pengering surya kolektor pelat datar pasif difokuskan pada optimalisasi parameter desain dan peningkatan kinerja. parameter area kolektor tentang tingkat efektifnya dalam penerapannya di pertanian [1], seperti orientasi, sudut kemiringan [2], dan peran ketebalan insulasi [3]. Inovasi pengering surya kolektor pelat menekankan pertimbangan desain, seperti penambahan kuantitas plat dalam meningkatkan penyimpanan termal [4], material insulasi transparan [5], dan laju aliran udara [6].

Dalam sebuah penelitian oleh Matavel, et. al, penulis mengembangkan dan menguji pengering surya pasif untuk mengeringkan buah-buahan dan sayuran. Temuan mereka menunjukkan bahwa pengering dapat mencapai pengeringan yang seragam dengan konsumsi energi minimal, sehingga cocok untuk petani [7]. Ahmad dan Prakash [8] mengusulkan model (matematis) untuk mengetahui kinerja pengering surya pasif dalam berbagai kondisi iklim, yang memungkinkan prediksi waktu pengeringan dan efisiensi yang akurat. keuntungan pengeringan surya terintegrasi rumah kaca, terutama untuk tanaman bernilai tinggi. Ndukwu [9]meneliti kelayakan ekonomi pengeringan surya bagi petani kecil, menyoroti potensi peningkatan pendapatan dan ketahanan pangan.

Kemajuan yang ada belum sepenuhnya menjelaskan bagaimana desain dan parameter operasional berinteraksi mempengaruhi kinerja pengering surya di berbagai kondisi lingkungan. Penelitian sebelumnya cenderung fokus pada aspek terpisah, misalnya kontrol aliran udara [6], inovasi material [5], dan integrasi rumah kaca [8]. Namun, penelitian yang mengkaji efek gabungan parameter penting, seperti suhu lingkungan, terhadap pengeringan dan efisiensi termal secara holistik masih minim. Penelitian ini bertujuan untuk melakukan studi eksperimental untuk menilai efektivitas pengering di berbagai iklim dan menginvestigasi pengaruh parameter desain dan operasional, seperti laju aliran udara, intensitas radiasi matahari, dan suhu lingkungan, terhadap kinerja dan efisiensi termal.

2. Metode Penelitian

2.1. Pengaturan Eksperimen

Penelitian ini menggunakan pengering surya yang dirancang khusus untuk mengeringkan cabai. Serangkaian uji coba eksperimental dilakukan pada bulan Desember 2024, di mana 10 kg cabai dari pasar lokal di Humbang hasundutan, Sumatera Utara,

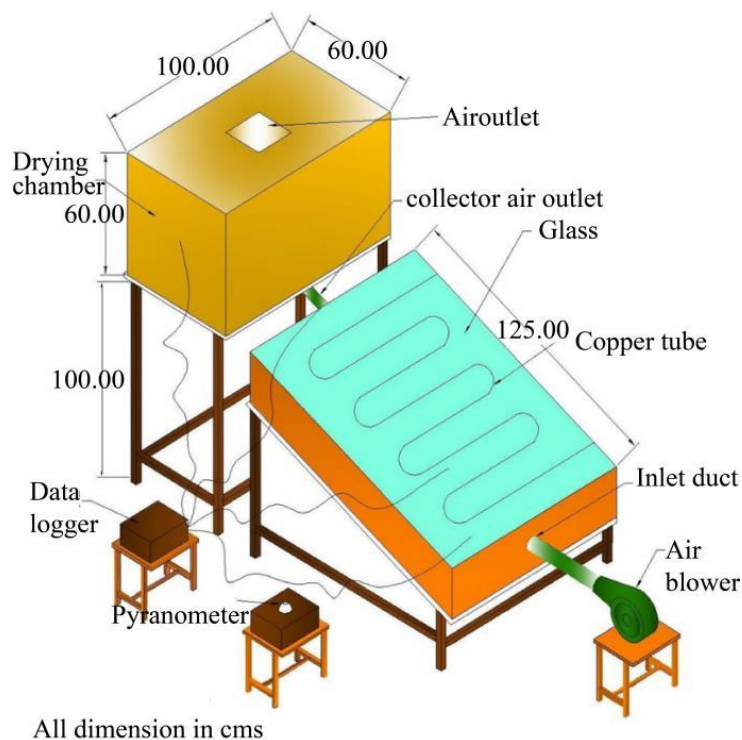
dikeringkan. Pengereng surya yang digunakan memiliki susunan skema seperti yang diilustrasikan pada Gambar 1. Kadar air awal cabai diukur menggunakan metode pengeringan oven.

2.2. Desain dan Fabrikasi Pengereng Tenaga Surya

Berdasarkan penelusuran pustaka yang komprehensif, desain pengereng surya mengadopsi sistem kolektor pelat datar. Parameter rancangan, seperti luas keseluruhan kolektor surya dan tingkat aliran massa, ditetapkan sesuai dengan hasil penelusuran. Luas yang dibutuhkan untuk pengereng surya adalah $1,6 \text{ m}^2$, yang cukup untuk mengeringkan 10 kg cabai

2.3. Spesifikasi Desain

Pengereng surya menggunakan kolektor pelat datar dengan tabung tembaga untuk mengalirkan udara panas ke ruang pengereng. Kolektor Pelat Datar dimiringkan 23 derajat untuk optimalisasi penyerapan matahari. Ruang pengereng dari aluminium diisolasi dengan busa polietilena, dilengkapi tiga baki kasa untuk 10 kg cabai. Target pengeringan dari 80% menjadi 15% kelembaban dalam 40 jam. Kolektor memiliki luas $1,61 \text{ m}^2$, ruang pengereng berukuran $0,64 \text{ m} \times 1,0 \text{ m} \times 0,64 \text{ m}$, dan baki $0,6 \text{ m} \times 0,6 \text{ m}$ dengan jarak $0,25 \text{ m}$. Sudut konvergensi dan divergensi 15 derajat, memastikan desain optimal untuk pengeringan efisien.



Gambar 1 Skema susunan alat percobaan

2.4. Persamaan yang Digunakan dalam Analisis

Kuantitas air yang akan diuapkan, yaitu air yang terlepas dari cabai, dihitung dengan menggunakan Perhitungan 1. [10].

$$m_w = \frac{m_p (m_i - m_f)}{100 - m_f} \quad (1)$$

Dimana, m_w adalah massa air yang akan diuapkan m_p adalah massa total cabai (kg) yang akan dikeringkan dengan kadar air awal m_i ke Kadar Air Akhir m_f .

Untuk menghitung total energi panas yang diperlukan dalam menghilangkan kandungan air, maka dilakukan perhitungan panas yang dibutuhkan untuk penguapan, [11].

$$Q_{req} = \frac{M_w - L_w}{3600 * t} \quad (2)$$

Jumlah air yang dihilangkan dalam periode waktu tertentu, atau laju pengeringan, dihitung dengan menggunakan Persamaan 3, [12].

$$D_R = \frac{m_w}{\Delta T} \quad D_R = \frac{m_w}{\Delta T} \quad (3)$$

Total panas yang diserap oleh sistem ETC (Evacuated Tube Collector) ditentukan dengan menggunakan Persamaan 4, [13].

$$Q_{abs} = A_C * I_G * \eta_{opt} W \quad (4)$$

Dimana, η_{opt} adalah efisiensi opsional kolektor pelat datar, yaitu 0,65 dan I_G adalah radiasi matahari yang jatuh pada permukaan kolektor.

Laju aliran udara panas yang meninggalkan sistem, yang menunjukkan seberapa cepat udara panas bergerak, dihitung melalui Persamaan 5, [14].

$$Q = \frac{V_{air}}{\Delta t} \quad (5)$$

Rasio Kelembaban (MR), parameter nondimensi, digunakan untuk menilai efisiensi pengeringan [15].

$$MR = \frac{(M_t - M_e)}{(M_i - M_e)} \quad (6)$$

Dimana, M_t adalah massa produk pada suatu waktu 't', dan M_e Adalah kelembaban keseimbangan.

Efisiensi termal kolektor pelat datar, adalah perbandingan antara panas yang diserap fluida dan energi matahari yang diterima kolektor dihitung menggunakan Persamaan 7 [16].

$$\eta_{coll} = \frac{Q_u}{A_c * I_G} * 100 \quad (7)$$

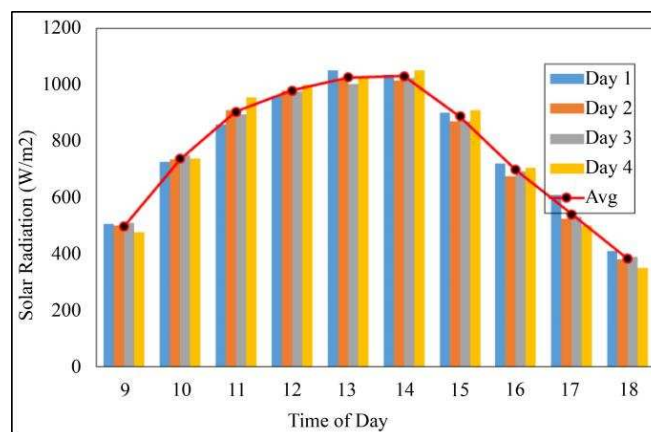
3. Hasil

3.1. Peningkatan Suhu pada Pengering Tenaga Surya

Suhu di dalam pengering surya meningkat tajam, dari 31°C hingga 80°C, berkat penangkapan radiasi matahari yang efisien oleh kolektor pelat datar. Perbedaan suhu antara udara lingkungan dan udara pengering (ΔT) cukup untuk mengeringkan cabai. Efektivitas penghilangan air dari cabai didukung oleh ΔT ini, yang membuktikan efisiensi pengering. Penguapan air dipercepat oleh suhu internal yang tinggi, sehingga meningkatkan laju pengeringan. Kemampuan menjaga suhu tinggi secara konsisten sangat penting untuk dehidrasi dan kualitas produk pertanian.

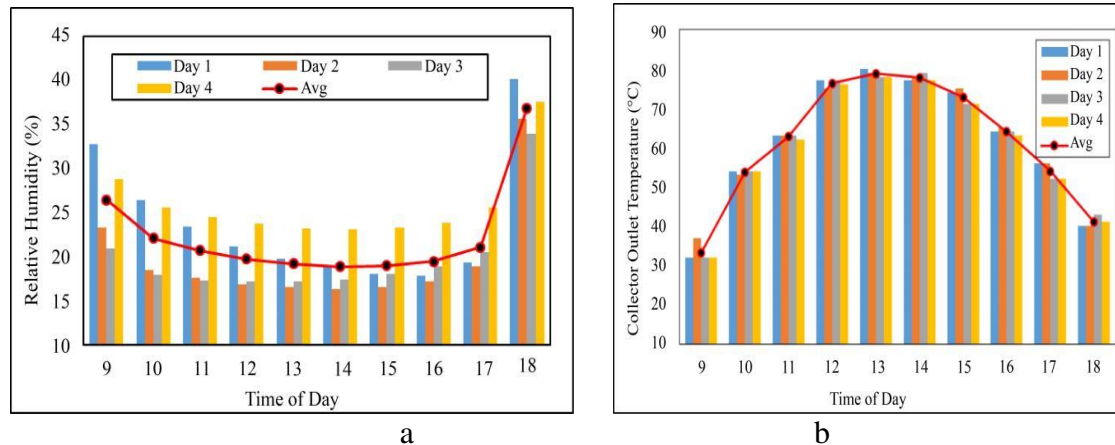
3.2. Pengukuran Radiasi Matahari dan Kelembaban Relatif

Gambar 2 menunjukkan radiasi matahari harian (W/m^2) dari pukul 9 pagi hingga 6 sore selama empat hari. Radiasi meningkat dari 400 W/m^2 di pagi hari, mencapai puncak 1000 W/m^2 pada siang hari (pukul 12 siang dan 1 siang), dan menurun menjadi 200 W/m^2 di sore hari pukul 6 sore. Variasi harian menunjukkan pengaruh kondisi atmosfer, tetapi pola umum berbentuk lonceng mengindikasikan potensi energi surya yang optimal pada tengah hari untuk pengering surya.



Gambar 2 Variasi radiasi matahari

Gambar 3 menunjukkan penurunan kelembapan relatif dari 25-30% di pagi hari menjadi 15-20% pada siang hari, bertepatan dengan puncak radiasi matahari. Kelembapan meningkat menjadi 35-40% di sore hari. Variasi harian dipengaruhi kondisi atmosfer. Kelembapan rendah di siang hari mendukung pengeringan surya. Memahami tren kelembapan ini sangat penting untuk mengoptimalkan pengoperasian dan desain pengering surya, guna memastikan kinerja pengeringan yang efektif dan konsisten.



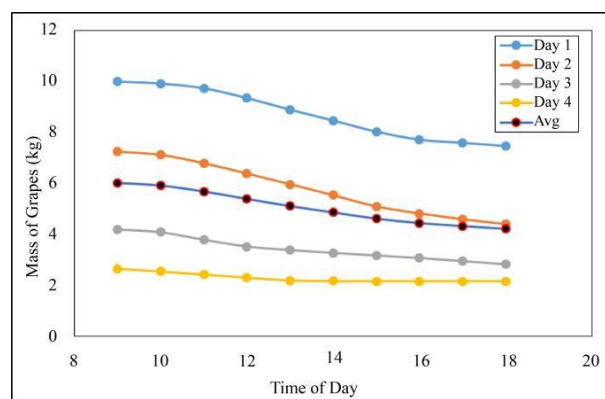
Gambar 3 a) Variasi kelembaban relatif, b) Variasi suhu outlet kolektor

3.3. Suhu Outlet Kolektor

Gambar 4 menunjukkan suhu outlet kolektor (80-85°C pada siang hari) yang mengikuti pola radiasi matahari. Suhu meningkat dari 30-40°C di pagi hari, mencapai puncak pada siang hari, dan menurun di sore hari. Pola ini mengindikasikan kinerja kolektor yang andal dan kondisi optimal untuk pengeringan surya. Pengoptimalan sangat bergantung pada analisis fluktuasi dan puncak suhu outlet kolektor. Data menunjukkan bahwa pengering surya dapat menjaga suhu tinggi saat jam-jam puncak matahari, dan memastikan pengeringan produk yang efisien dan efektif.

3.4. Massa Cabai

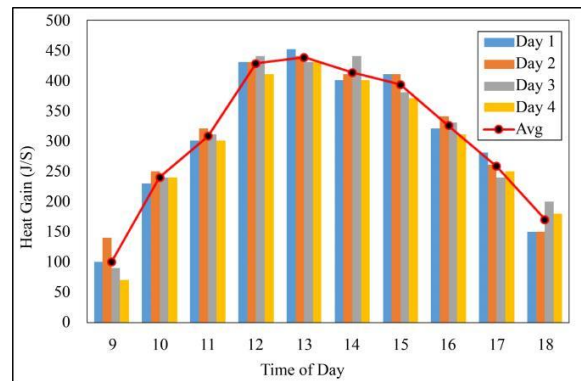
Gambar 5 menunjukkan penurunan massa cabai dari 10.5 kg menjadi 3 kg dalam empat hari, mengindikasikan hilangnya air. Rata-rata massa cabai juga menunjukkan penurunan konsisten, menunjukkan perubahan massa harian akibat hilangnya air atau faktor lain.



Gambar 4 Variasi massa buah cabai

3.5. Peningkatan Panas oleh Cabai

Gambar 6 menunjukkan perolehan panas pengering surya kolektor pelat datar, meningkat dari 50 J/s di pagi hari, mencapai 450 J/s pada siang hari, dan menurun menjadi 100 J/s di sore hari. Pola ini konsisten selama empat hari.

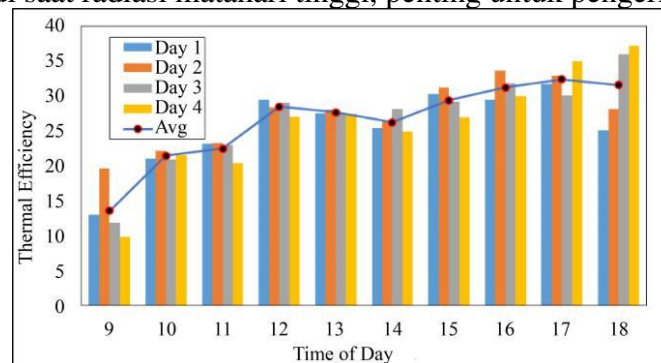


Gambar 5 Variasi perolehan panas oleh udara

Perolehan panas pengering surya kolektor pelat datar mencapai puncak pada siang hari, selaras dengan iradiasi matahari [17]. Penurunan sore hari disebabkan oleh berkurangnya masukan matahari dan pendinginan. Pola ini menunjukkan pengering efisien dalam pengeringan cabai.

3.6. Efisiensi Termal

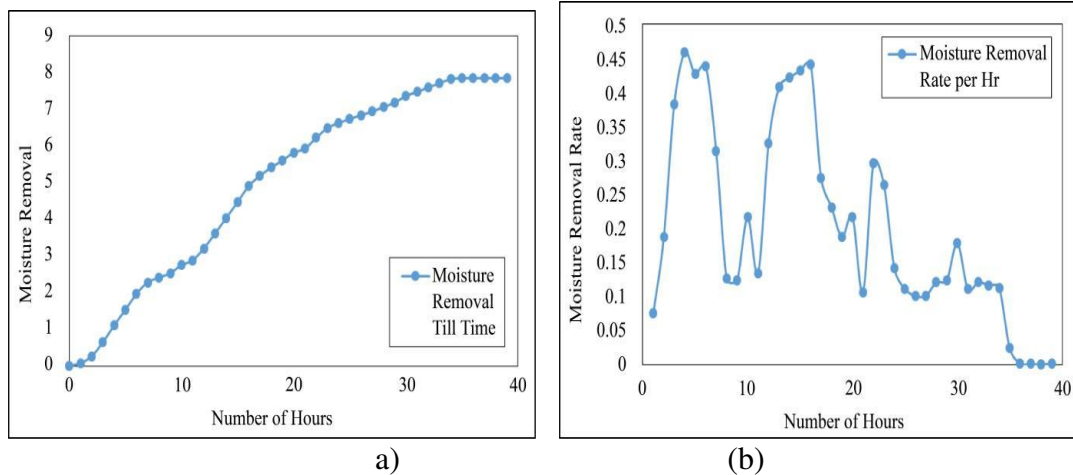
Efisiensi termal pengering surya Kolektor Pelat Datar meningkat dari 5% (pagi) hingga 45-50% (sore), stabil 25-35% (siang). Ini mencerminkan kinerja optimal Kolektor Pelat Datar yang mengikuti radiasi matahari [18]. Desain alat mendukung efisiensi, dan kinerja terbaik terjadi saat radiasi matahari tinggi, penting untuk pengeringan optimal.



Gambar 6 Variasi efisiensi termal

3.7. Tingkat Penghapusan Kelembapan dari Waktu ke Waktu

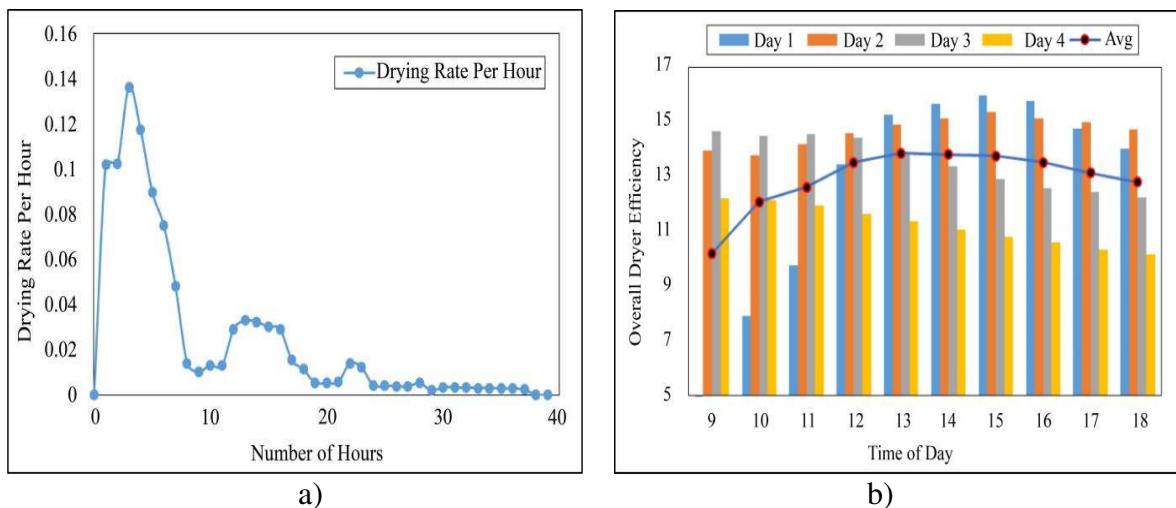
Pengeringan cabai surya selama 40 jam terbagi tiga fase: awal cepat (10 jam), melambat (10-20 jam), dan stabil lambat (20-40 jam) karena perubahan kadar air. Laju pengeringan optimal di jam 5 dan 15, dipengaruhi radiasi matahari. Fluktuasi laju (jam 10 & 20) akibat sinar matahari atau fase pengeringan. Laju menurun setelah 20 jam, menunjukkan kesulitan menghilangkan sisa air. Pola ini sesuai penelitian Gomez et al. [19] tentang pengeringan surya.



Gambar 7 Penghapusan kelembaban (a) Waktu penggaraman, (b) Kecepatan per jam

3.8. Kecepatan Pengeringan Per Jam

Gambar 9 mengilustrasikan laju pengeringan cabai surya mencapai puncak 0,14 kg/jam di jam ke-4, lalu menurun tajam hingga 0,03 kg/jam di jam ke-8. Antara jam 10-20, laju stabil sekitar 0,02 kg/jam, dan terus menurun hingga mendekati nol di jam ke-40..



Gambar 8 a)Kecepatan pengeringan per jam, b) Efisiensi pengering secara keseluruhan

Secara keseluruhan, Laju pengeringan menunjukkan pola tipikal: awal cepat dengan puncak, diikuti penurunan tajam dan stabilisasi. Pola ini umum untuk pengeringan bahan dengan kadar air tinggi.

3.9. Efisiensi Pengering Secara Keseluruhan

Gambar Efisiensi pengering surya terendah di pagi hari (10-15%), mencapai puncak sekitar 15% pada siang hari, dan menurun di sore hari. Efisiensi tertinggi terjadi saat tengah hari, menunjukkan kinerja optimal pengering surya pada periode radiasi matahari maksimal.

4. Kesimpulan

Penelitian ini mengevaluasi pengering surya ETC untuk cabai yang bersumber dari dataran tinggi, menunjukkan kinerja efektif dalam berbagai kondisi. Pengering mencapai suhu puncak 80°C, dengan efisiensi termal optimal saat tengah hari, menunjukkan kemampuannya menjaga lingkungan pengeringan yang baik. Proses pengeringan mengikuti pola umum pengeringan surya: awal cepat, lalu melambat, dengan korelasi antara radiasi surya dan efisiensi pengeringan. Efisiensi tertinggi dicapai saat tengah hari, sesuai dengan radiasi matahari maksimal. Kesimpulannya, pengering surya ETC efektif untuk pengeringan cabai, menawarkan metode berkelanjutan. Penelitian lanjutan dapat fokus pada peningkatan desain dan material untuk efisiensi yang lebih baik.

References

- [1] E. Getahun, M. A. Delele, N. Gabbiye, S. W. Fanta, P. Demissie, and M. Vanierschot, "Importance of integrated CFD and product quality modeling of solar dryers for fruits and vegetables: A review," *Sol. Energy*, vol. 220, pp. 88–110, 2021.
- [2] S. Şevik, A. Koçer, H. İnce, and F. E. Tombuş, "Determination of optimum tilt angle of the solar collector and evaluation of the position of the existing buildings in terms of solar potential," *Archit. Eng. Des. Manag.*, vol. 18, no. 6, pp. 812–828, 2022.
- [3] S. Pandey, A. Kumar, and A. Sharma, "Sustainable solar drying: Recent advances in materials, innovative designs, mathematical modeling, and energy storage solutions," *Energy*, p. 132725, 2024.
- [4] G. D. Shekata, G. S. Tibba, and A. T. Baheta, "Recent advancements in indirect solar dryer performance and the associated thermal energy storage," *Results Eng.*, p. 102877, 2024.
- [5] M. Elgendi, M. N. AlMallahi, M. Mahmoud, M. A. Abdelkareem, and A. G. Olabi, "Experimental study on insulation and heat sink in solar drying system: A case study," *Case Stud. Therm. Eng.*, vol. 56, p. 104166, 2024.
- [6] M. C. Gilago, V. R. Mugi, and V. Chandramohan, "Performance assessment of passive indirect solar dryer comparing without and with heat storage unit by investigating the drying kinetics of carrot," *Energy Nexus*, vol. 9, p. 100178, 2023.
- [7] C. Matavel *et al.*, "Passive solar dryers as sustainable alternatives for drying agricultural produce in sub-Saharan Africa: advances and challenges," *Discov. Sustain.*, vol. 2, pp. 1–15, 2021.
- [8] A. Ahmad and O. Prakash, "Development of mathematical model for drying of crops under passive greenhouse solar dryer," *Mater. Today Proc.*, vol. 47, pp. 6227–6230, 2021.
- [9] M. Ndukwu *et al.*, "Progressive review of solar drying studies of agricultural products with exergoeconomics and econo-market participation aspect," *Clean. Environ. Syst.*, vol. 9, p. 100120, 2023.
- [10] J. Wang, A. S. Mujumdar, H. Wang, X.-M. Fang, H.-W. Xiao, and V. Raghavan, "Effect of drying method and cultivar on sensory attributes, textural profiles, and volatile characteristics of grape raisins," *Dry. Technol.*, vol. 39, no. 4, pp. 495–506, 2021.
- [11] E. H. Bani Hani, M. Alhuyi Nazari, M. E. H. Assad, H. Forootan Fard, and A. Maleki, "Solar dryers as a promising drying technology: a comprehensive review," *J. Therm. Anal. Calorim.*, vol. 147, no. 22, pp. 12285–12300, 2022.

- [12] Shimpy, M. Kumar, and A. Kumar, "Performance assessment and modeling techniques for domestic solar dryers," *Food Eng. Rev.*, vol. 15, no. 3, pp. 525–547, 2023.
- [13] H. S. El-Mesery, A. I. El-Seesy, Z. Hu, and Y. Li, "Recent developments in solar drying technology of food and agricultural products: A review," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 157, p. 112070, 2022.
- [14] D. T. Embiale and D. G. Gunjo, "Investigation on solar drying system with double pass solar air heater coupled with paraffin wax based latent heat storage: Experimental and numerical study," *Results Eng.*, vol. 20, p. 101561, 2023.
- [15] V. R. Mugi and C. V.P, "Comparison of drying kinetics, thermal and performance parameters during drying guava slices in natural and forced convection indirect solar dryers," *Sol. Energy*, vol. 234, pp. 319–329, 2022, doi: <https://doi.org/10.1016/j.solener.2022.02.012>.
- [16] P. Moghimi, H. Rahimzadeh, and A. Ahmadpour, "Experimental and numerical optimal design of a household solar fruit and vegetable dryer," *Sol. Energy*, vol. 214, pp. 575–587, 2021, doi: <https://doi.org/10.1016/j.solener.2020.12.023>.
- [17] A. Ahmad *et al.*, "A comprehensive state-of-the-art review on the recent developments in greenhouse drying," *Energies*, vol. 15, no. 24, p. 9493, 2022.
- [18] A. Acharya, C. Rissler, B. Baral, T. Lhendup, M. Andersson, and H. Davidsson, "Development of a novel solar dryer with an incorporated heat exchanger," *Sol. Energy*, vol. 269, p. 112327, 2024.
- [19] R. S. Gomez *et al.*, "The Effect of Air Relative Humidity on the Drying Process of Sanitary Ware at Low Temperature: An Experimental Study," *Processes*, vol. 11, no. 11, 2023, doi: 10.3390/pr11113112.