

## Evaluasi kinerja pengering hybrid berbasis pemanas listrik dan tungku biomassa untuk pengeringan biji kakao

Harmen<sup>a,1</sup>, Hadi Prayitno<sup>a</sup>, Helmy Fitriawan<sup>b</sup>, Muhammad Irsyad, Amrul, Ahmad Yonanda, Bagus Dita Renaldi<sup>c</sup>

<sup>a</sup>Jurusan Teknik Mesin, Universitas Lampung, Bandar Lampung, 35145

<sup>b</sup>Jurusan Teknik Elektro, Universitas Lampung, Bandar Lampung, 35145

<sup>c</sup>Program Studi Sarjana Teknik Mesin, Universitas Lampung, Bandar Lampung, 35145

<sup>1</sup>Email korespondensi: [harmen.1969@eng.unila.ac.id](mailto:harmen.1969@eng.unila.ac.id)

**Abstrak.** Pengering *hybrid* merupakan solusi potensial untuk meningkatkan efisiensi proses pengeringan biji kakao, terutama di daerah yang memiliki akses terhadap sumber energi terbarukan seperti Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH). Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kinerja termal sistem pengering *hybrid* tipe *flat bed dryer* yang menggabungkan pemanas listrik berbasis PLTMH dan tungku biomassa berbahan kayu jati. Parameter yang diamati mencakup temperatur udara masuk dan keluar, kecepatan aliran udara, massa biji kakao, dan kadar air akhir. Analisis energi dilakukan untuk menghitung energi masuk ( $Q_{in}$ ), energi yang terserap oleh produk ( $Q_{out}$ ), dan energi yang hilang ( $Q_{loss}$ ). Hasil menunjukkan bahwa sistem membutuhkan total energi sebesar 515.566,7 kJ, dengan konsumsi energi biomassa sebesar 456.451 kJ (86%) dan energi listrik sebesar 59.114,9 kJ (14%). Energi yang benar-benar diserap oleh produk sebesar 6.534,1 kJ, sedangkan kehilangan energi mencapai 19.935,8 kJ. Efisiensi termal pengering tercatat sebesar 24,68%. Temuan ini mengindikasikan bahwa kontribusi utama berasal dari biomassa, sementara pemanas listrik berperan sebagai penstabil temperatur. Hasil ini menunjukkan bahwa sistem hybrid listrik-biomassa memiliki potensi untuk diterapkan dalam skala petani, namun masih diperlukan optimalisasi pada distribusi panas dan beban pengeringan untuk meningkatkan efisiensi.

**Keywords:** Pengering hybrid, mikrohidro, tungku biomassa, *flat bed dryer*, biji kakao.

**Received:** 30 September 2025; **Presented:** 9 October 2025; **Publication:** 9 March 2026

DOI: <https://doi.org/10.71452/mdj4sj85>

### PENDAHULUAN

Pengolahan pascapanen yang tepat merupakan kunci dalam menjaga mutu hasil pertanian tropis, termasuk biji kakao (*Theobroma cacao* L.) yang banyak dibudidayakan di wilayah Asia, Afrika, dan Amerika Latin. Salah satu tahapan paling krusial adalah proses pengeringan, yang berfungsi untuk menurunkan kadar air biji hasil fermentasi guna mencegah pertumbuhan mikroorganisme dan memastikan kestabilan mutu produk selama penyimpanan. Mutu fisik dan kimia biji kakao, seperti warna, kandungan senyawa volatil, dan profil rasa, sangat dipengaruhi oleh proses pengeringan yang digunakan [1], [2]

Di tingkat petani, pengeringan secara konvensional melalui penjemuran terbuka masih lazim dipraktikkan karena kesederhanaannya. Namun, metode ini sangat bergantung pada kondisi cuaca dan tidak menjamin kebersihan serta kestabilan temperatur selama proses berlangsung [3], [4]. Berbagai teknologi pengeringan telah dikembangkan untuk meningkatkan efisiensi dan higienitas, seperti pengering surya pasif, pengering berbahan bakar biomassa, serta kombinasi dari keduanya dalam sistem hybrid [5], [6], [7]

Sistem pengering hybrid berbasis surya-biomassa telah menunjukkan performa baik dalam meningkatkan kecepatan pengeringan dan efisiensi energi. Kombinasi ini juga memungkinkan proses berlangsung lebih stabil dalam berbagai kondisi cuaca [8], [9], [10]. Beberapa studi juga mulai

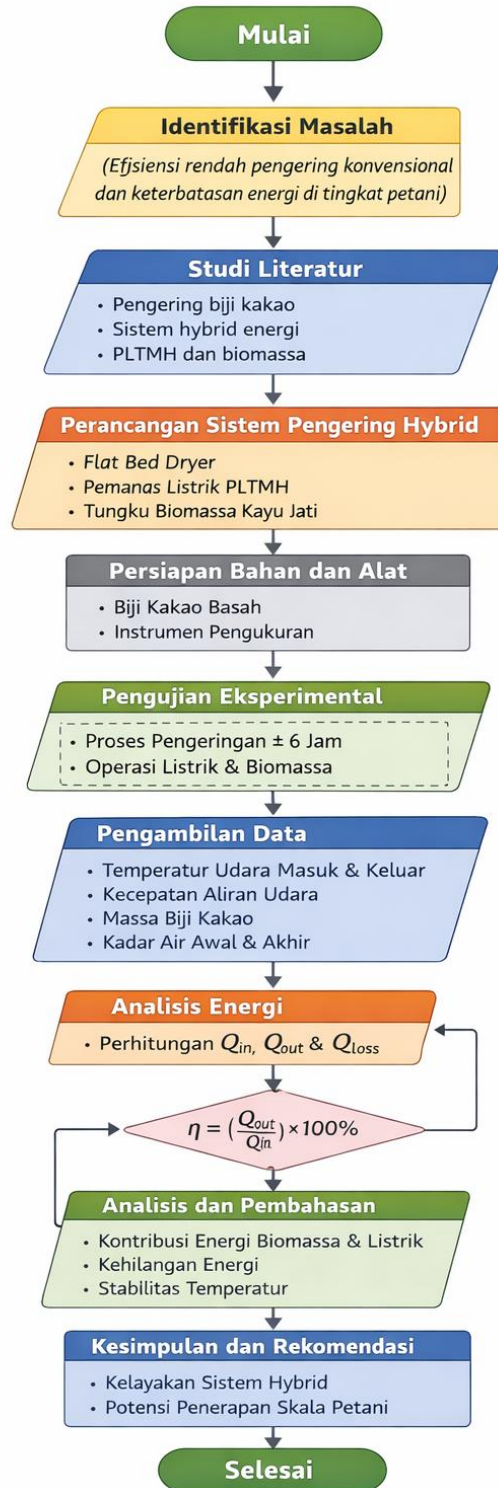
mengeksplorasi integrasi sumber energi terbarukan lain seperti PLTS, PLTMH, atau pemanas listrik dari sumber energi bersih [11], [12]. Namun, fokus utama sebagian besar studi masih pada aspek teknis pemanfaatan panas surya dan biomassa, sedangkan analisis kuantitatif terhadap performa sistem *hybrid* yang melibatkan PLTMH masih sangat terbatas [13], [14]

Selain itu, sebagian besar pengembangan sistem pengering belum menyertakan perhitungan neraca energi secara menyeluruh, termasuk energi masuk ( $Q_{in}$ ), energi yang terserap oleh produk ( $Q_{out}$ ), serta energi yang hilang ( $Q_{loss}$ ). Kajian mengenai efisiensi termal dan analisis kehilangan panas masih minim dilaporkan, padahal aspek tersebut penting untuk memahami efektivitas energi sistem dan potensi perbaikannya [15], [16], [17]. Terlebih, penggunaan beban kerja yang tidak sesuai dengan kapasitas rancang alat juga mempengaruhi efisiensi secara signifikan [4], [18]

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi performa sistem pengering *hybrid* tipe *flat bed dryer* dengan kombinasi pemanas listrik berbasis PLTMH dan tungku biomassa. Evaluasi dilakukan melalui pendekatan eksperimental yang mencakup pengukuran distribusi temperatur, kelembapan udara, laju aliran massa udara, kadar air produk, dan perhitungan neraca energi untuk menentukan efisiensi termal sistem. Pengujian dilakukan pada kondisi beban kerja yang

belum maksimal untuk melihat dampak rasio beban terhadap kapasitas, efisiensi, dan kehilangan energi. Temuan dari studi ini diharapkan dapat memperkaya basis data teknis terkait sistem pengering hybrid berbasis energi terbarukan, serta menjadi acuan untuk pengembangan sistem pengering yang efisien dan

kontekstual terhadap kondisi wilayah pedesaan dengan keterbatasan akses energi fosil. Implikasinya tidak hanya pada peningkatan mutu produk, tetapi juga pada efisiensi energi dan keberlanjutan lingkungan dalam pengolahan hasil pertanian skala kecil.



Gambar 1. Tahapan penelitian

## METODOLOGI

### Desain Sistem

Sistem pengering yang digunakan dalam penelitian ini adalah tipe *flat bed dryer hybrid* dengan kapasitas  $\pm 50$  kg biji kakao, dirancang untuk memanfaatkan dua sumber energi panas, yaitu pemanas listrik dan tungku biomassa. Pemanas listrik menggunakan energi dari Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) dengan daya  $2 \times 1$  kW, sedangkan tungku biomassa menggunakan kayu jati kering dengan kadar air 15–20% dan nilai kalor tinggi (HHV) sebesar 15,93 MJ/kg. Sistem ini dilengkapi dengan saluran distribusi udara panas, ruang plenum sebagai perata aliran udara, dan delapan rak tempat penyebaran biji dalam ruang pengering. Pemanas listrik dan tungku dapat digunakan secara terpisah maupun bersamaan sesuai kebutuhan kontrol temperatur.

### Prosedur Eksperimen

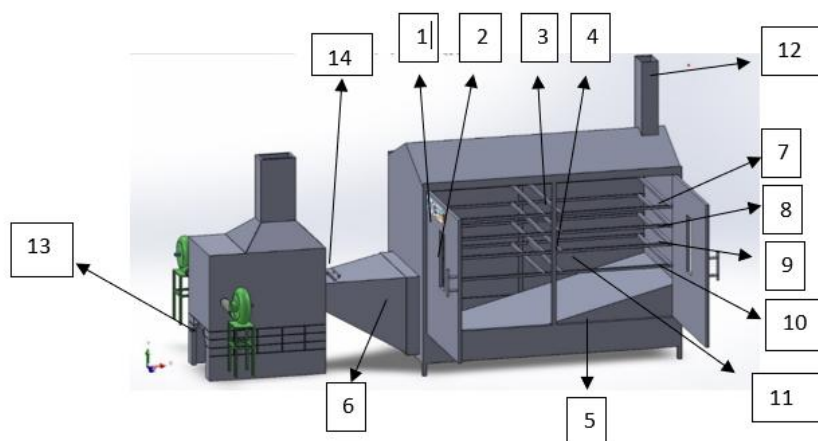
Eksperimen diawali dengan persiapan alat dan bahan, termasuk pengujian awal sistem pengering tanpa beban untuk memastikan distribusi temperatur merata di dalam ruang pengering. Biji kakao dengan kadar air awal berkisar antara 50–60% disiapkan dan ditimbang sesuai kebutuhan kapasitas rak pengering. Proses pengeringan dilakukan dengan menyebarkan biji kakao secara merata di atas rak-rak pengering dengan ketebalan lapisan sekitar 3–4 cm. Selama proses berlangsung, kombinasi pemanas listrik dan tungku biomassa dioperasikan secara bergantian dan simultan

untuk menjaga temperatur dalam kisaran 50–60 °C. Pengeringan berlangsung selama kurang lebih enam jam hingga kadar air biji kakao mendekati standar penyimpanan. Seluruh parameter, termasuk temperatur udara pada beberapa titik (masuk, tengah, keluar), kecepatan aliran udara, kelembapan udara, massa sampel, dan kadar air, dicatat setiap 30 menit menggunakan instrumen yang sesuai. Kelembapan udara dicatat karena memiliki pengaruh signifikan terhadap proses pengeringan, khususnya dalam sistem pengering terbuka atau semi-tertutup seperti ini.

### Variabel Penelitian dan Instrumen

Parameter utama yang diamati dalam penelitian ini mencakup temperatur udara pengering yang diukur menggunakan termokopel tipe K yang terhubung dengan data logger, serta kecepatan aliran udara yang diamati menggunakan anemometer digital. Massa biji kakao ditimbang dengan timbangan digital berakurasi 0,01 g, sementara kadar air biji diukur menggunakan *moisture analyzer* untuk memastikan hasil pengeringan memenuhi standar kualitas. Konsumsi energi listrik dicatat melalui *wattmeter* yang dipasang pada pemanas listrik, sedangkan konsumsi biomassa dihitung berdasarkan massa kayu jati yang terbakar selama proses pengeringan.

Gambaran umum sistem dan alur kegiatan penelitian diperlihatkan dalam Gambar 1. Diagram alur penelitian, sedangkan rancangan fisik pengering ditampilkan dalam Gambar 2. Pengering tipe *flat bed dryer hybrid*.



Gambar 2. Pengering tipe *flat bed dryer hybrid*

Keterangan gambar:

- |   |                              |
|---|------------------------------|
| 1. Pintu  | 7. Rak 1 dan 2               |
| 2. Pengunci pintu   | 8. Rak 3 dan 4               |
| 3. Rangka   | 9. Rak 5 dan 6               |
| 4. Kaca   | 10. Rak 7 dan 8              |
| 5. Ruang plenum (ruang kosong yang berbentuk miring berfungsi sebagai | 11. Ruang pengering          |
|   | 12. Cerobong udara pengering |

meratakan dan menyalurkan udara panas ke ruang pengering)

13. Ruang tungku biomassa

14. Lubang *heater* listrik

6. Tempat bongkar pasang pemanas *hybrid* (*heater* dan tungku)

## Analisis energi dan efisiensi

Analisis data dilakukan dengan pendekatan termodinamika energi, meliputi:

1. Energi masuk ( $Q_{in}$ ) dari *heater* listrik dan pembakaran biomassa.
2. Energi yang diserap produk ( $Q_{out}$ ) berdasarkan perubahan kadar air biji kakao.
3. Energi hilang ( $Q_{loss}$ ) dari konduksi, konveksi, dan radiasi pada sistem.
4. Efisiensi pengeringan ( $\eta$ ) dihitung menggunakan persamaan (1) berikut:

$$\eta_{th} = \frac{Q_{serap}}{Q_{in}} \times 100\% \quad (1)$$

Dengan:  $\eta_{th}$  = efisiensi termal (%)

$Q_{serap}$  = energi/panas yang diserap kakao untuk penguapan air (kJ)

$Q_{in}$  = Panas masuk untuk pemanasan udara (kJ)

Selain itu, data hasil pengukuran dibandingkan dengan standar mutu biji kakao kering, SNI 2323:2008 tahun 2017 (kadar air 7–8%) untuk mengevaluasi keberhasilan proses pengeringan. Laju aliran massa udara ( $\dot{m}$ ) dihitung menggunakan persamaan (2) berdasarkan pengukuran kecepatan udara ( $v$ ) yang ditiupkan oleh *blower*, luas penampang aliran ( $A$ ) dan densitas udara ( $\rho$ ) pada temperaturnya.

Panas masuk dihitung melalui persamaan (3) berdasarkan perbedaan temperatur udara masuk ruang

pengering ( $T_1$ ) dikurangi temperatur udara lingkungan ( $T_{link}$ ).

Energi listrik digunakan untuk menggerakkan *blower* dan untuk memanaskan elemen *heater* listrik, Besar energi listrik yang dibutuhkan dihitung berdasarkan persamaan (4).

Energi biomassa dihitung berdasarkan jumlah massa kayu yang digunakan dikalikan dengan nilai kalor kayu jati atau menggunakan persamaan (5)

$$\dot{m} = \rho \cdot A \cdot v, \quad \text{kg/s} \quad (2)$$

$$\dot{Q}_{in} = \dot{m} \cdot c_p \cdot (T_1 - T_{link}), \quad \text{kJ/s} \quad (3)$$

$$\dot{W}_{el} = V(\text{volt}) \cdot I(\text{ampere}), \quad \text{watt / (J/s)} \quad (4)$$

$$\dot{Q}_{tungku} = \dot{m} \cdot HHV, \quad \text{kJ/s} \quad (5)$$

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Distribusi Temperatur

Sistem pengering *hybrid* menghasilkan temperatur ruang pengering rata-rata sebesar 54,25 °C (Tabel 1, Gambar 3), yang berada dalam kisaran optimal untuk pengeringan biji kakao sebagaimana dilaporkan dalam studi sejenis [1], [6]. Suhu meningkat secara signifikan pada jam pertama, kemudian stabil pada jam kedua hingga kelima, menunjukkan adanya inersia termal

dalam sistem sebelum mencapai kondisi steady-state. Fluktuasi temperatur disebabkan oleh sifat pembakaran biomassa yang tidak stabil, serta kontribusi terbatas dari pemanas listrik (sekitar 8%) yang hanya berfungsi sebagai penstabil. Selain itu, kelembaban udara awal yang tinggi (Tabel 1) turut menghambat laju kenaikan suhu [16]. Distribusi suhu yang tidak merata antartitik pengukuran menunjukkan potensi ketidakhomogenan pengeringan. Distribusi

suhu yang tidak merata antartitik pengukuran menunjukkan potensi ketidakhomogenan pengeringan.

Fenomena ini mencerminkan pentingnya pengaturan distribusi panas dan peningkatan sistem kontrol suhu. Ketidakteraturan temperatur dapat memperbesar perbedaan kadar air antar lapisan biji, sehingga mempengaruhi mutu akhir [3]. Evaluasi teknis menunjukkan perlunya optimalisasi desain plenum dan penambahan sensor suhu agar distribusi energi termal lebih seragam.

### Laju Aliran Massa Udara

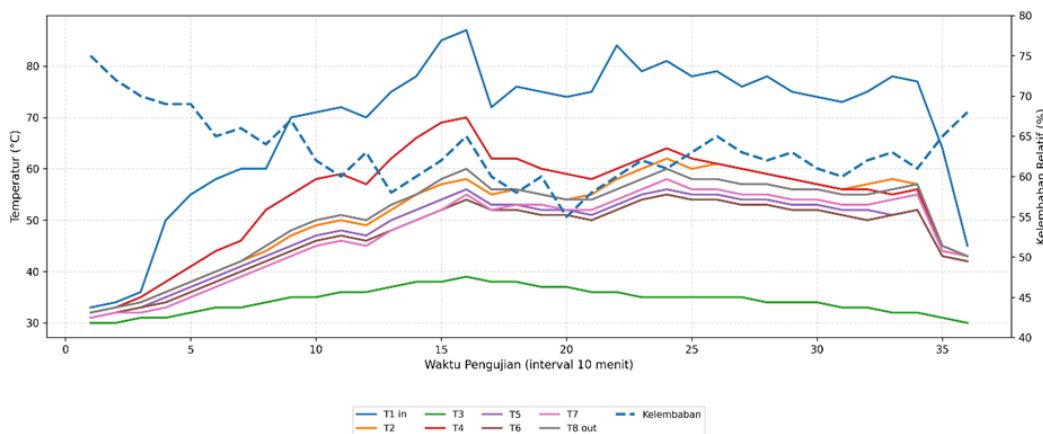
Laju aliran massa udara selama proses pengeringan berkisar antara 1,124–1,159 kg/s (Tabel 2), menunjukkan performa sistem *blower* yang cukup konsisten antarpengujian. Namun, aliran yang stabil

belum tentu menghasilkan perpindahan panas yang efisien jika tidak diikuti distribusi suhu yang merata. Dalam perpindahan panas konvektif, kecepatan aliran udara memengaruhi koefisien perpindahan panas. Bila suhu dan aliran tidak selaras, maka panas tidak akan diserap secara efektif oleh produk [15].

Desain ruang pengering dan posisi rak juga turut memengaruhi pola aliran udara. Ketidakseimbangan antara suplai udara dan geometri ruang menyebabkan aliran tidak merata, yang berdampak pada laju pengeringan yang bervariasi antara rak. Desain pengering yang tidak optimal menyebabkan penumpukan udara panas pada satu sisi, sebagaimana diidentifikasi dalam kajian simulasi dan eksperimental sebelumnya [3], [8].

Tabel 1. Data distribusi temperatur pada proses pengeringan biji kakao dengan sumber panas hybrid

Waktu, jam ke-	T <sub>in</sub> , (°C)	Temperatur ruang pengering (°C)							T <sub>link</sub> , (°C)	Kelembaban φ, (%)
		T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub>	T <sub>6</sub>	T <sub>7</sub>	T <sub>8</sub>		
1	47,4	40	39,4	39	38,2	37,9	40,2	38,9	28,5	70
2	70,2	58,8	59,8	57,9	57,1	55,4	60	56,3	29,3	63
3	68,7	58,9	59,8	58,1	58,1	57,1	62,4	59,2	31,1	60
4	69,3	60,8	61,4	60	61,2	60	64,1	63	33	58
5	62,0	57,5	58,2	57	59	57,8	59,8	58,8	33,1	56
6	58,8	45,7	46,1	46,3	47,5	41,7	46,5	45,2	31,6	51
<b>Rata-rata</b>	<b>62,7</b>	<b>53,6</b>	<b>54,1</b>	<b>53,1</b>	<b>53,5</b>	<b>51,7</b>	<b>55,5</b>	<b>53,6</b>	<b>31,1</b>	<b>60</b>



Gambar 3. Distribusi temperatur proses pengeringan hybrid biji kakao

Tabel 2. Laju aliran massa pengujian *Hybrid*.

Waktu (jam ke-)	Laju aliran udara, (kg/s)		
	Pengujian ke 1	Pengujian ke 2	Pengujian ke 3
1	1,17545	1,1981	1,18731
2	1,07499	1,1893	1,1432
3	1,14323	1,1198	1,1129
4	1,10212	1,1232	1,1465
5	1,12584	1,0837	1,2065

Waktu (jam ke-)	Laju aliran udara, (kg/s)		
	Pengujian ke 1	Pengujian ke 2	Pengujian ke 3
6	1,12477	1,0902	1,15715
Rata-rata	1,12440	1,13405	1,15893

Tabel 3. Massa dan kadar air biji kakao.

Variasi pengujian	Pengujian ke	Massa kakao		Massa diuapkan (kg)	Kadar air akhir (%)
		m awal (kg)	m akhir (kg)		
<i>hybrid</i>	1	5,109	2,275	2,834	7,10%
	2	5,285	2,21	3,075	7,5%
	3	5,225	2,245	2,98	4,5%
	Rata-rata			<b>2,963</b>	<b>6.37%</b>

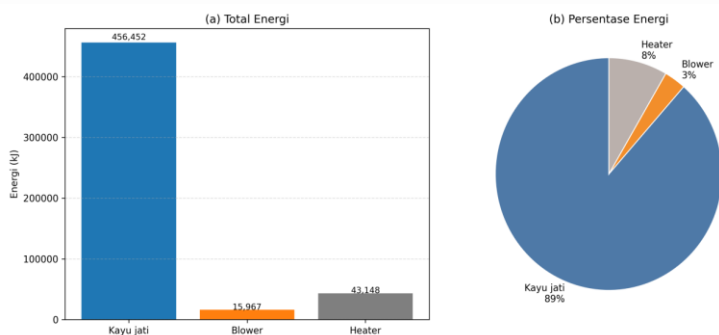
### Laju Penurunan Kadar Air Biji Kakao

Selama enam jam proses pengeringan, kadar air biji kakao turun dari 50–60% menjadi 4,5–7,5% (Tabel 3), sesuai dengan standar mutu SNI 2323:2008. Rata-rata massa air yang diuapkan sebesar 2,96 kg menunjukkan bahwa proses pengeringan berlangsung efektif dari sisi teknis. Namun, bila dibandingkan dengan input energi yang tinggi, efisiensi konversi energi menjadi penguapan tergolong rendah. Proses penguapan air membutuhkan energi laten yang besar. Jika sebagian besar panas tidak digunakan untuk penguapan tetapi hilang ke lingkungan, maka efisiensi energi menjadi sangat rendah. Temuan ini memperkuat pentingnya peningkatan interaksi panas-udara-produk, yang sangat dipengaruhi oleh temperatur stabil dan kelembaban relatif [16].

### Analisis Energi

Total energi yang digunakan selama pengeringan sebesar 515.566,7 kJ, dengan kontribusi terbesar dari pembakaran biomassa (86%), diikuti pemanas listrik (8%) dan blower (3%) (Gambar 4). Energi yang diserap produk ( $Q_{out}$ ) hanya sebesar 6.534,1 kJ atau sekitar 1,27% dari total, menunjukkan pemanfaatan energi yang rendah. Selisih besar antara energi masuk dan terserap menunjukkan besarnya kehilangan energi.

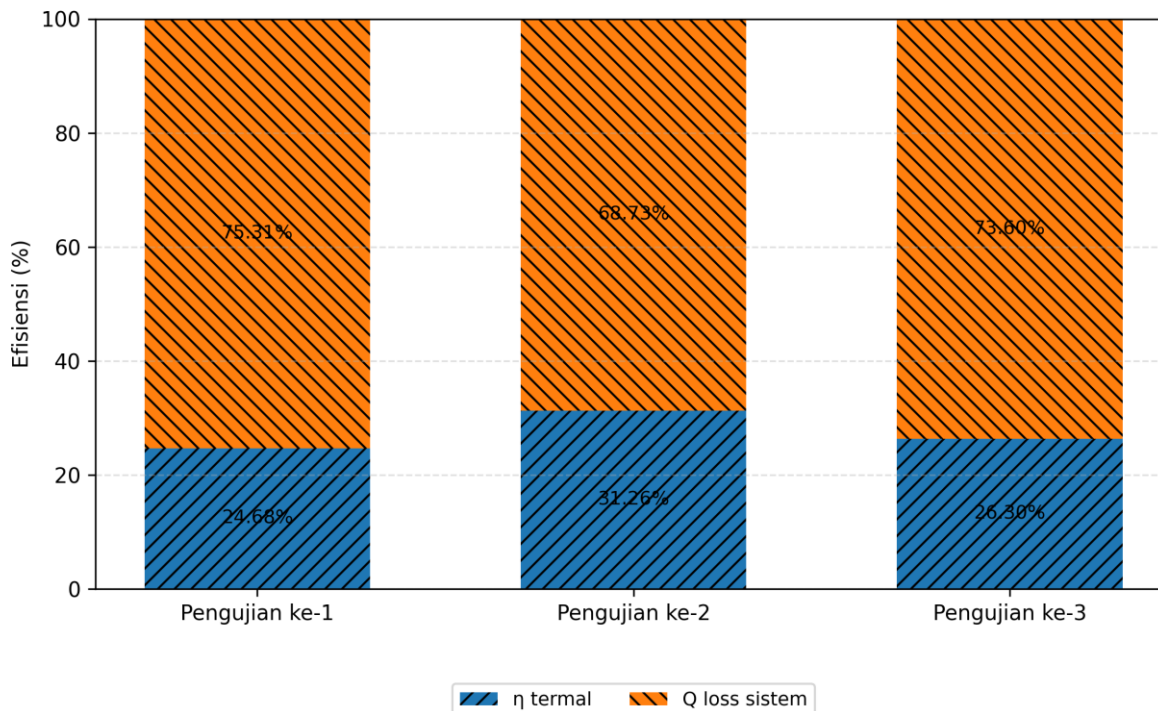
Inefisiensi ini kemungkinan disebabkan oleh luas penampang pemanasan yang kecil, ketidakmerataan distribusi udara panas, dan isolasi termal yang lemah. Efektivitas pengering sangat dipengaruhi oleh rasio beban terhadap kapasitas desain [19]. Dalam penelitian ini, sistem hanya digunakan untuk mengeringkan 8 kg biji kakao (sekitar 16% dari kapasitas rancang 50 kg), sehingga banyak energi tidak termanfaatkan secara optimal.



(a) Total energi

(b) Persentasi energi

Gambar 4. Total dan persentasi energi untuk pengeringan kakao



Gambar 5. Efisiensi termal pengeringan dan persentase *heat loss*

## Efisiensi Pengeringan

Efisiensi termal sistem berkisar antara 24,66% hingga 31,26%, dengan rata-rata 24,68%, sementara *heat loss* mencapai 75,32% (Gambar 5). Efisiensi ini tergolong rendah untuk sistem hybrid dan erat kaitannya dengan rasio beban kerja yang jauh di bawah kapasitas rancang. Surplus energi yang tidak terserap produk menjadi penyebab utama tingginya *heat loss*, sebagaimana juga dilaporkan dalam sistem serupa [4], [5].

Selain itu, isolasi termal belum optimal, dan kontrol terhadap pembakaran biomassa belum terstandarisasi. Fluktuasi temperatur memperbesar potensi kehilangan panas melalui dinding sistem dan aliran keluar. Ketidakterlibatan pemanas listrik sebagai pengatur suhu aktif turut memperburuk kestabilan sistem termal. Dibandingkan dengan studi terdahulu [6], [8], nilai efisiensi pada sistem ini masih dalam batas dapat diterima, namun belum cukup kompetitif untuk skala aplikasi petani.

Dengan demikian, peningkatan efisiensi dapat diarahkan pada optimasi beban kerja mendekati kapasitas desain, peningkatan kualitas isolasi termal, serta penerapan sistem kontrol suhu otomatis berbasis sensor. Strategi ini diharapkan dapat meningkatkan

pemanfaatan energi, mengurangi *heat loss*, dan menjadikan sistem lebih layak secara teknis dan ekonomis untuk diterapkan dalam pengolahan kakao skala kecil.

## KESIMPULAN

Sistem pengering *hybrid* tipe *flat bed* berbasis PLTMH dan biomassa mampu menurunkan kadar air biji kakao menjadi 4,5–7,5% dalam enam jam sesuai standar SNI, namun efisiensi termalnya masih rendah (24,66–31,26%) dengan *heat loss* tinggi (>75%) akibat rendahnya rasio beban kerja (8 kg dari 50 kg). Sistem ini efektif secara teknis, tetapi perlu pengembangan lebih lanjut pada aspek efisiensi energi melalui peningkatan beban kerja, isolasi termal, dan kontrol suhu otomatis agar layak diterapkan pada skala petani berbasis energi terbarukan.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulisan mengucapkan terimakasih kepada Universitas Lampung atas dana hibah PkM Institusi tahun anggaran 2024 dan kepada Fakultas Teknik Unila atas dana hibah penelitian DIPA Fakultas tahun anggaran 2025

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] B. F. Dzelagha, N. M. Ngwa, And D. N. Bup, "Review Article A Review Of Cocoa Drying Technologies And The Effect On Bean Quality Parameters," Vol. 2020, 2020. <https://doi.org/10.1155/2020/8830127>
- [2] J. Pita-Garcia *Et Al.*, "Impact Of Combined Sun And Hybrid Drying Technologies On Cocoa Drying Process And Quality," *Heliyon*, Vol. 11, No. 4, 2025, Doi: 10.1016/J.Heliyon.2025.E42884.

- [3] S. A. Adeyemi, S. O. Obayopo, And F. Akharume, “Numerical Simulation And Experimental Validation Study Of A Mixed-Mode Solar Dryer For Cocoa Beans,” Vol. 07, No. 3, Pp. 96–114, 2019.  
<https://doi.org/10.5281/zenodo.3698247>
- [4] S. A. Akbar, S. Asmara, M. Z. Kadir, And S. Suharyatun, “Uji Kinerja Alat Pengering Tipe Batch Dryer Untuk Pengeringan Kakao (*Theobroma Cacao L.*) Dengan Sistem Penghembus Udara Panas,” *J. Agric. Biosyst. Eng.*, Vol. 3, No. 2, P. 297, Jun. 2024, Doi: 10.23960/Jabe.V3i2.9545.
- [5] P. Udomkun *Et Al.*, “Review Of Solar Dryers For Agricultural Products In Asia And Africa: An Innovation Landscape Approach,” *J. Environ. Manage.*, Vol. 268, P. 110730, 2020, Doi: 10.1016/J.Jenvman.2020.110730.
- [6] B. O. Oyefeso, A. K. Aremu, V. O. Fasiku, And C. A. Ogunlade, “Development Of A Passive Hybrid Solar Dryer For Cocoa Bean,” *J. Agric. Mech.*, Vol. 5, No. 1, Pp. 66–79, Jun. 2025, Doi: 10.63749/Agrimech.5.1.1007w.
- [7] M. Arutagi, S. Rathod, D. Chougale, A. Kulkarni, And K. Dc, “Solar Biomass Hybrid Dryer For Farmers And Rural Community,” No. 05, Pp. 7780–7783, 2025.  
[https://www.irjmets.com/upload\\_newfiles/irjmets70500298236/paper\\_file/irjmets70500298236.pdf](https://www.irjmets.com/upload_newfiles/irjmets70500298236/paper_file/irjmets70500298236.pdf)
- [8] A. D. Rincon-Quintero I, L. A. Del Portillo-Valdes And C. L. Sandoval-Rodriguez, “Evaluation Of A Cocoa Dryer Prototype Using Labview Software And Arduino Hardware,” Vol. 5, No. 2, Pp. 363–374, 2023.  
<https://doi.org/10.37868/Hsd.V5i2.318>
- [9] Y. Gunawan, K. T. Margono, R. Rizky, N. Putra, And R. Al Faqih, “Enhancing The Performance Of Conventional Coffee Beans Drying With Low - Temperature Geothermal Energy By Applying HPH: An experimental study” *Open Agriculture*, vol. 6, no. 1, 2021, pp. 807-818. <https://doi.org/10.1515/opag-2021-0053> [10] S. Anvari, A. Medina, R. P. Merchán, And A. C. Hernández, “Sustainable Solar/Biomass/Energy Storage Hybridization For Enhanced Renewable Energy Integration In Multi-Generation Systems: A Comprehensive Review,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, Vol. 223, No. May, 2025, Doi: 10.1016/J.Rser.2025.115997.
- [11] E. A. Yulanda, J. T. Susilo, A. Tama, S. Sunardi, D. A. Prakoso, And A. Yanuar, “Perancangan Pembangkit Listrik Hybrid Dengan Tenaga Surya Dan Tenaga Mikrohidro,” *Epic*, Vol. 7, No. 1, Pp. 89–97, Jun. 2024.  
<https://doi.org/10.32493/Epic.V7i1.39647>
- [12] M. S. Alim, S. Thamrin, And R. L. W, “Pemanfaatan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Sebagai Alternatif Ketahanan Energi Nasional Masa Depan,” Vol. 4, No. 3, Pp. 2427–2435, 2023. Retrieved from <https://ejournal.sisfokomtek.org/index.php/jpkm/article/view/1480>
- [13] S. Çelen And M. A. Karataser, “Investigation Of The Performance Of A Hybrid Dryer,” Pp. 1–15, 2019,  
<https://doi.org/10.3390/foods8020081>
- [14] A. S. Mujumdar, S. M. Hosseinalipour, And A. Barzigar, “Hybrid Energy Sources For Drying : Solar Energy Conversion To Microwave Energy For Agricultural And Mineral Applications,” *Dry. Technol.*, Vol. 0, No. 0, Pp. 1–3, 2025, Doi: 10.1080/07373937.2025.2564021.
- [15] F. Villarreal-Guerrero, A. Pinedo-Alvarez, And J. Flores-Velázquez, “Control of Greenhouse-Air Energy and Vapor Pressure Deficit With Heating , Variable Fogging Rates and Variable Vent Configurations : Simulated Effectiveness Under Varied Outside Climates,” *Comput. Electron. Agric.*, Vol. 174, No. May, P. 105515, 2020, Doi: 10.1016/J.Compag.2020.105515.
- [16] L. Calabrese *Et Al.*, “Effect Of Alternating Humidity And Dryness on The Durability of Adsorbent Sheets Used In Open – Cycle Adsorption Processes,” *Polym. Degrad. Stab.*, Vol. 234, No. December 2024, P. 111201, 2025, Doi: 10.1016/J.Polyimdegradstab.2025.111201.
- [17] M. Simo-Tagne, H. D. Tamkam Etala, A. Tagne Tagne, M. C. Ndukwu, And M. El Marouani, “Energy, Environmental And Economic Analyses Of An Indirect Cocoa Bean Solar Dryer: A Comparison Between Natural And Forced Convections,” *Renew. Energy*, Vol. 187, Pp. 1154–1172, 2022, Doi: 10.1016/J.Renene.2022.02.015.
- [18] J. Kenneth *Et Al.*, “Drying Characterization of A Hybrid Dryer for Cacao Pod Husk,” Vol. 112, No. June, Pp. 289–294, 2024, <https://doi.org/10.3303/CET24112049>
- [19] K. Gyanwali, P. Aryal, And B. Adhikari, “A Study on Electric Dryer for Cash Crops Drying as An End-Use Promotion of Micro Hydro Power in Nepal & Its Comparative Analysis With Biomass Based Drying System,” vol. 10, no. I, pp. 39–54, 2014. <https://doi.org/10.70530/kuset.v10i1.400>