

Contents list available at [Sinta](https://sinta)**A R M A T U R**

: Artikel Teknik Mesin & Manufaktur

Journal homepage: <https://scholar.ummetro.ac.id/index.php/armatur>**Inovasi Solar Dryer Aktif untuk Meningkatkan Kualitas dan Efisiensi Pengeringan Biji Kakao Pascapanen**Nely Ana Mufarida^{1*}, Machmud Effendy², Sofia Ariyani³^{1*} Program Studi-Program Profesi Insinyur, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Malang, Jl. Raya Tlogomas No. 246 Malang²Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Malang Jl. Raya Tlogomas No. 246 Malang³Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Jember, Jl. Karimata No. 49 Jember**A R T I C L E
I N F O**

Keywords:
active solar dryer
cocoa beans
postharvest
drying efficiency
physical and chemical
quality

A B S T R A C T

Cocoa beans are an important commodity in Indonesia, and their quality is strongly influenced by the post-harvest drying process. Traditional sun-drying methods commonly used by farmers have several limitations, such as dependence on weather conditions, long drying times, and the risk of contamination, resulting in unstable quality and market value of cocoa beans. This study aims to evaluate the performance of an active solar dryer as a more efficient and hygienic technological alternative. The research was conducted using an experimental method through the design and direct testing of the drying system. The results showed that the active solar dryer was able to maintain temperatures of 45–60°C and reduce the moisture content of cocoa beans from approximately 58% to 7% within 48–72 hours, which is about 50% faster than traditional methods. In addition, the cocoa beans produced exhibited better quality with lower levels of microbial contamination. In conclusion, the active solar dryer has been proven to improve drying efficiency, speed, and quality, and has strong potential for adoption by farmers.

Pendahuluan

Biji kakao merupakan komoditas perkebunan strategis di Indonesia, dengan kontribusi penting terhadap industri pangan,

terutama coklat [1]. Salah satu tahap paling krusial dalam penanganan pascapanen biji kakao adalah proses pengeringan [2]. Mutu biji kakao sangat dipengaruhi oleh kadar air

*Corresponding author: nelyana@unmuhjember.ac.id

DOI: <https://doi.org/10.24127/armatur.v7i1.10694>

Received 2 December 2025; Received in revised form 15 December 2025; Accepted 30 January 2026

Available online 1 March 2026

akhir, tingkat keseragaman pengeringan, serta kontrol terhadap kontaminasi mikroba [3]. Secara tradisional, petani banyak mengandalkan penjemuran terbuka di bawah sinar matahari. Meskipun metode ini murah, teknik tersebut memiliki sejumlah kelemahan, seperti ketergantungan penuh pada cuaca, lambatnya proses pengeringan, serta risiko kontaminasi dari debu, serangga, dan hujan. Kondisi ini sering mengakibatkan mutu biji kakao yang tidak stabil dan nilai jual yang rendah [4].

Dalam dua dekade terakhir, berbagai studi melaporkan bahwa teknologi pengering surya aktif (*active solar dryer*) mampu meningkatkan efisiensi perpindahan panas dan mempercepat proses pengeringan [5]. Sistem ini menggabungkan energi matahari dengan alat bantu seperti kipas atau sistem pemanas tambahan untuk meningkatkan aliran udara panas di dalam ruang pengering [6]. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa pengering surya aktif dapat menurunkan kadar air biji kakao lebih cepat, menjaga warna dan aroma fermentasi, serta mengurangi kontaminasi mikroba dibandingkan metode penjemuran tradisional [7].

Meskipun hasil awal menjanjikan, pengembangan inovasi pengering surya aktif masih memerlukan kajian lebih lanjut, khususnya yang disesuaikan dengan kondisi iklim tropis Indonesia serta kebutuhan skala petani kecil. Efisiensi penggunaan energi, stabilitas suhu selama pengeringan, dan kualitas produk akhir perlu diuji secara sistematis untuk memastikan alat yang dihasilkan benar-benar memberikan manfaat nyata di lapangan [8].

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sekaligus mengevaluasi kinerja prototipe *solar dryer* aktif yang dirancang khusus untuk proses pengeringan biji kakao pascapanen. Selain itu, penelitian ini juga berfokus pada analisis peningkatan efisiensi pengeringan yang dihasilkan oleh alat tersebut jika dibandingkan dengan metode penjemuran tradisional yang umum digunakan petani. Lebih jauh, penelitian ini

bertujuan menilai pengaruh penggunaan *solar dryer* aktif terhadap berbagai aspek mutu fisik dan kimia biji kakao, termasuk kadar air akhir, perubahan warna, aroma hasil fermentasi, serta potensi kontaminasi selama proses pengeringan.

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi ilmiah sekaligus solusi praktis bagi pengolahan kakao di tingkat petani, sehingga mutu dan nilai tambah produk dapat meningkat secara signifikan.

Meskipun teknologi *solar dryer* aktif telah banyak dilaporkan dalam literatur, sebagian besar desain yang ada masih bersifat umum, berorientasi pada skala laboratorium, atau belum sepenuhnya sesuai dengan kondisi operasional petani kecil di wilayah tropis lembap seperti Indonesia. Banyak sistem pengering surya aktif sebelumnya menggunakan konfigurasi kompleks, kebutuhan daya tambahan dari listrik konvensional, atau tidak dilengkapi sistem kontrol aliran udara yang optimal, sehingga penerapannya ditingkat petani masih terbatas [9].

Kebaruan utama penelitian ini terletak pada pengembangan dan evaluasi prototipe *solar dryer* aktif yang dirancang secara spesifik untuk pengeringan biji kakao pascapanen.

Integrasi penuh energi surya pada sistem ventilasi aktif dalam penelitian ini membedakannya dari berbagai desain sebelumnya yang masih bergantung pada sumber listrik eksternal. Prototipe yang dikembangkan memanfaatkan panel surya sebagai satu-satunya sumber energi untuk mengoperasikan kipas, sehingga sistem menjadi sepenuhnya mandiri energi, lebih hemat biaya operasional, serta lebih realistis untuk diterapkan di daerah perkebunan terpencil yang memiliki keterbatasan akses listrik [10].

Meskipun sejumlah penelitian terdahulu telah membahas penggunaan ventilasi aktif dan energi surya, sebagian besar masih berfokus pada aspek desain umum dan performa dasar, tanpa mengkaji secara mendalam keterbatasan pada aspek

kinetika aliran udara, efisiensi pemanfaatan energi surya, serta stabilitas suhu ruang pengering [11]. Oleh karena itu, *research gap* dalam penelitian ini terletak pada kebutuhan akan sistem ventilasi berbasis energi surya yang sepenuhnya mandiri dengan evaluasi komprehensif terhadap efisiensi energi, karakteristik aliran udara, dan kemampuan menjaga kestabilan suhu secara berkelanjutan.

Stabilitas suhu pengeringan pada rentang optimal kakao (45–60°C) Banyak penelitian sebelumnya hanya melaporkan peningkatan suhu tanpa analisis kestabilan. Penelitian ini menekankan pengendalian dan kestabilan suhu, yang terbukti mampu mempertahankan kondisi pengeringan ideal bagi biji kakao tanpa menyebabkan *case hardening* atau degradasi mutu [12].

Desain sederhana dan aplikatif untuk skala petani kecil jika dibandingkan dengan *solar dryer* aktif pada literatur yang menggunakan struktur besar atau sistem kontrol elektronik kompleks, prototipe pada penelitian ini dirancang dengan komponen sederhana, biaya relatif rendah, dan mudah dioperasikan, sehingga memiliki nilai kebaruan dari sisi *appropriate technology* [13].

Evaluasi kinerja berbasis parameter kuantitatif yang komprehensif. Penelitian ini tidak hanya membandingkan waktu pengeringan, tetapi juga mengkaji laju pengeringan, *moisture ratio*, efisiensi pengeringan, mutu fisik, mutu sensoris, serta kontaminasi mikroba secara terintegrasi [14]. Pendekatan ini memberikan gambaran menyeluruh yang belum banyak dilaporkan secara simultan dalam studi sebelumnya.

Perbandingan langsung dengan penjemuran tradisional pada bahan dan kondisi yang sama. Kebaruan lainnya adalah penggunaan batch biji kakao yang sama, kondisi lingkungan serupa, serta interval pengukuran identik untuk kedua metode. Hal ini memperkuat validitas perbandingan dan memberikan bukti empiris yang lebih

kuat mengenai keunggulan *solar dryer* aktif dibandingkan metode konvensional [15].

Dengan demikian, penelitian ini tidak hanya mereplikasi teknologi yang sudah ada, tetapi menghadirkan inovasi desain, pendekatan evaluasi, dan konteks penerapan yang lebih relevan dengan kebutuhan nyata petani kakao di Indonesia. Kontribusi penelitian ini diharapkan mampu menjembatani kesenjangan antara pengembangan teknologi pengering surya aktif di tingkat akademik dan implementasinya secara praktis di lapangan.

Metode Penelitian

Desain penelitian ini menggunakan desain eksperimental kuantitatif dengan membandingkan kinerja pengeringan biji kakao menggunakan *solar dryer aktif* dan metode penjemuran tradisional. Pengujian dilakukan secara berulang untuk memastikan konsistensi hasil, dengan prosedur yang terkontrol pada kondisi lingkungan yang relatif serupa [16].

Alat utama yang digunakan adalah prototipe *solar dryer aktif*.



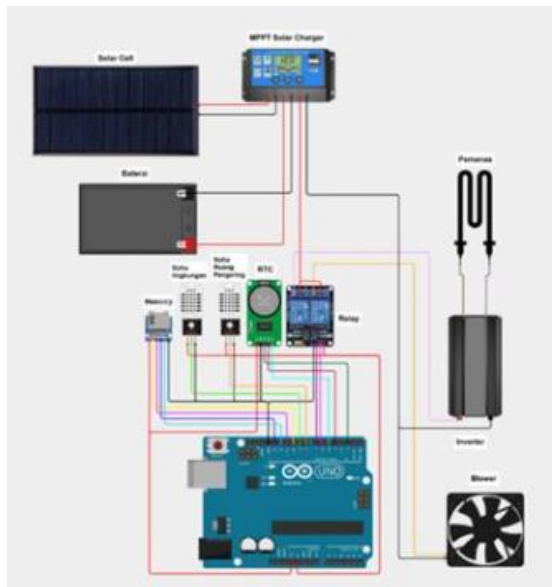
Gambar 1. Prototipe *solar dryer* aktif

Keterangan :

1. Bagian rangka
2. Atap Polycarbonate
3. Rangka ruang pengering
4. Panel control
5. Exhaust fan
6. Solar cell
7. Heater

Alat pengering dirancang dengan rangka baja profil kotak berdimensi 200 cm × 200 cm × 70 cm. Atap menggunakan polikarbonat transparan setebal 6 mm dengan sudut kemiringan 25. Terdapat empat kotak penampung biji kakao aluminium berlubang (90 cm×90 cm×2.5 cm), masing-masing berkapasitas 10 kg. Panel surya, exhaust fan, dan heater dioperasikan oleh energi listrik dari panel surya yang disimpan dalam baterai.

Unit kontrol berbasis Arduino Uno R3 Mega328p mengintegrasikan modul relay, RTC, SD card reader, sensor DHT22, solar charger control, dan inverter.



Gambar 2. Wiring Unit Control

Alat ukur tambahan meliputi timbangan digital, *moisture meter*, termohigrometer, dan alat uji warna. Bahan penelitian berupa biji kakao yang telah melalui proses fermentasi standar selama 5-7 hari.

Prosedur penelitian meliputi persiapan alat dan bahan, proses pengeringan dengan *solar dryer* aktif, proses penjemuran tradisional, pengukuran mutu akhir biji kakao, dan analisis data

Untuk persiapan alat dan bahan, prototipe *solar dryer* aktif diuji untuk memastikan sistem pemanas dan aliran

udara bekerja stabil. Biji kakao ditimbang dan dicatat kadar air awalnya sebelum proses pengeringan.

Proses pengeringan dengan *solar dryer* aktif yaitu biji kakao ditempatkan secara merata di rak pengering, kemudian alat dioperasikan selama beberapa jam per hari sesuai kondisi radiasi matahari. Suhu dan kelembapan ruang pengering dicatat setiap 30 menit. Sampel biji kakao diukur kadar airnya setiap interval pengeringan.

Pada proses penjemuran tradisional, sebagai pembanding adalah biji kakao yang berasal dari *batch* yang sama dijemur di bawah sinar matahari dengan ketebalan hamparan yang seragam. Suhu lingkungan, waktu pengeringan, dan kadar air juga dicatat menggunakan interval yang sama.

Pengukuran Mutu Akhir Biji Kakao Setelah mencapai kadar air standar ($\pm 7\%$), contoh biji kakao dari kedua metode dianalisis meliputi warna, aroma, dan tingkat kerusakan. Pengujian kontaminasi mikroba dilakukan secara laboratorium jika diperlukan.

Data dianalisis secara deskriptif dan komparatif. Efisiensi pengeringan dihitung berdasarkan laju penurunan kadar air dan waktu total pengeringan. Perbandingan antara dua perlakuan diuji menggunakan uji *t* atau ANOVA, tergantung jumlah perlakuan dan replikasi. Hasil analisis disajikan dalam bentuk grafik, tabel, dan interpretasi naratif.

Untuk mengevaluasi kinerja pengeringan secara kuantitatif, digunakan beberapa parameter utama, yaitu *drying rate*, *moisture ratio*, dan efisiensi pengeringan.

Kadar Air (*Moisture Content*) yaitu kadar air biji kakao dinyatakan dalam basis basah (% wb) dan dihitung menggunakan persamaan:

$$MC (\%) = \frac{W_t - W_d}{W_t} \times 100 \quad (1)$$

dengan:

W_t = berat sampel pada waktu tertentu (g)

W_d = berat kering absolut sampel (g)

Pengukuran kadar air dilakukan secara berkala setiap interval pengeringan (misalnya setiap 30 menit).

Laju Pengeringan (*Drying Rate*) dihitung berdasarkan perubahan kadar air terhadap waktu, menggunakan persamaan:

$$DR = \frac{MC_t - MC_{t+\Delta t}}{\Delta t} \quad (2)$$

dengan:

DR = laju pengeringan (%/jam)

MC_t = kadar air pada waktu ke-t

$MC_{t+\Delta t}$ = kadar air pada waktu berikutnya

Δt = selang waktu pengeringan (jam)

Nilai laju pengeringan diplot terhadap waktu untuk melihat fase pengeringan (*initial, constant rate, dan falling rate period*).

Moisture Ratio (MR) digunakan untuk menganalisis kinetika pengeringan dan dinyatakan sebagai:

$$MR = \frac{MC_t - MC_e}{MC_0 - MC_e} \quad (3)$$

dengan:

MC_t = kadar air pada waktu ke-t

MC_0 = kadar air awal

MC_e = kadar air kesetimbangan

(diasumsikan mendekati nol jika relatif kecil)

Kurva MR terhadap waktu digunakan untuk membandingkan karakteristik pengeringan antara *solar dryer* aktif dan penjemuran tradisional.

Efisiensi pengeringan dihitung berdasarkan perbandingan energi yang digunakan untuk menguapkan air terhadap energi matahari yang diterima sistem:

$$\eta (\%) = \frac{m_w \times L_v}{I \times A \times t} \times 100 \quad (4)$$

dengan:

η = efisiensi pengeringan (%)

m_w = massa air yang diuapkan (kg)

L_v = panas laten penguapan air (≈ 2257 kJ/kg)

I = intensitas radiasi matahari rata-rata (kW/m²)

A = luas kolektor surya (m²)

t = waktu pengeringan (jam)

Untuk metode penjemuran tradisional, efisiensi dihitung secara komparatif berdasarkan penurunan kadar air per satuan waktu.

Untuk Analisis Statistik, nilai rata-rata laju pengeringan, waktu pengeringan total, dan efisiensi pengeringan dari kedua metode dibandingkan secara statistik. Uji *t* digunakan untuk dua perlakuan, sedangkan ANOVA digunakan jika terdapat lebih dari dua kondisi atau variasi perlakuan. Tingkat signifikansi ditetapkan pada $\alpha = 0,05$.

Hasil dan Pembahasan

Kondisi operasional *solar dryer* aktif yaitu Hasil pengamatan menunjukkan bahwa prototipe *solar dryer* aktif memiliki performa pemanasan yang relatif stabil selama proses pengeringan. Suhu di dalam ruang pengering berada pada kisaran 45–60°C dengan fluktuasi harian yang kecil, yaitu sekitar $\pm 3^\circ\text{C}$. Stabilitas suhu ini dipengaruhi oleh penggunaan kipas bertenaga panel surya yang berfungsi menjaga aliran udara panas secara kontinu dan merata di dalam ruang pengering.

Sebaliknya, metode penjemuran tradisional menunjukkan variasi suhu yang lebih besar, berkisar antara 28–40°C, dan sangat bergantung pada intensitas radiasi matahari, kecepatan angin, serta kondisi cuaca. Ketidakstabilan suhu tersebut berdampak langsung pada laju pengeringan yang lebih lambat dan tidak konsisten.

Suhu yang lebih tinggi dan stabil pada *solar dryer* aktif meningkatkan laju evaporasi air dari permukaan biji kakao, mempercepat perpindahan panas dan massa, serta menjaga kelembapan relatif ruang pengering tetap rendah. Kondisi ini efektif dalam menekan potensi pertumbuhan mikroorganisme selama proses pengeringan.

Berdasarkan hasil pengukuran berkala, biji kakao yang dikeringkan menggunakan *solar dryer* aktif mengalami penurunan kadar air dari sekitar 58% menjadi 7% dalam waktu 48–72 jam. Laju pengeringan rata-rata berada pada kisaran 1,2–1,8% per jam.

Sebaliknya, pada metode penjemuran tradisional, penurunan kadar air dari 58% menjadi 7% memerlukan waktu yang jauh lebih lama, yaitu 120–144 jam,

dengan laju pengeringan rata-rata hanya 0,5–0,7% per jam.

Perbedaan ini menunjukkan bahwa penggunaan *solar dryer* aktif mampu mempercepat proses pengeringan secara signifikan. Secara kuantitatif, efisiensi pengeringan *solar dryer* aktif tercatat 40–50% lebih tinggi dibandingkan metode tradisional. Hasil ini sejalan dengan temuan pada literatur pengeringan surya aktif, di mana peningkatan suhu dan aliran udara panas mempercepat difusi air dari bagian dalam biji ke permukaan [11].

Mutu fisik biji kakao dievaluasi berdasarkan warna, tingkat keretakan, dan keseragaman. Biji kakao yang dikeringkan menggunakan *solar dryer* aktif menunjukkan warna coklat cerah dan seragam, menandakan proses pengeringan yang merata. Tidak ditemukan gejala *case hardening*, dan tekstur biji cenderung kering merata serta lebih renyah.



Gambar 3. Biji kakao yang dikeringkan menggunakan *solar dryer* aktif

Sebaliknya, biji kakao hasil penjemuran tradisional memiliki warna yang lebih gelap dan tidak seragam. Beberapa biji menunjukkan indikasi fermentasi yang kurang optimal akibat proses pengeringan yang lambat dan fluktuatif. Persentase biji pecah dan rusak juga lebih tinggi, yang dipengaruhi oleh paparan hujan, debu, serta kontak langsung dengan permukaan penjemuran terbuka.



Gambar 4. Biji kakao hasil penjemuran tradisional

Temuan ini menegaskan bahwa *solar dryer* aktif mampu menjaga kualitas fisik biji kakao secara lebih konsisten melalui kontrol suhu dan perlindungan terhadap faktor lingkungan eksternal.

Kedua metode pengeringan menghasilkan kadar air akhir yang relatif sama, yaitu sekitar 7%, namun waktu pencapaiannya sangat berbeda. Biji kakao dari *solar dryer* aktif memiliki aroma fermentasi yang lebih kuat dan bersih, menunjukkan bahwa proses fermentasi pasca-panen tidak terganggu oleh keterlambatan pengeringan.

Pada penjemuran tradisional, sebagian sampel menunjukkan aroma kurang optimal, cenderung asam atau lembap, yang disebabkan oleh lamanya proses pengeringan. Hasil uji laboratorium juga menunjukkan bahwa jumlah kapang pada sampel penjemuran tradisional 2–4 kali lebih tinggi dibandingkan sampel dari *solar dryer* aktif. Hal ini dipengaruhi oleh kelembapan malam hari, paparan debu, dan durasi pengeringan yang panjang.

Dari sisi efisiensi energi, *solar dryer* aktif tergolong hemat energi karena sistem ventilasi sepenuhnya digerakkan oleh panel surya. Tidak diperlukan biaya operasional tambahan selama proses pengeringan. Selain itu, desain alat yang relatif sederhana menjadikannya mudah dioperasikan dan layak diterapkan pada tingkat petani maupun kelompok usaha kecil.

Ditinjau dari aspek keberlanjutan, teknologi ini ramah lingkungan, mengurangi ketergantungan pada energi fosil, serta berpotensi menekan biaya pascapanen dalam jangka panjang.

Data Grafik Suhu Pengering vs Waktu menyatakan perbandingan suhu ruang pengering *solar dryer* aktif dan suhu lingkungan pada penjemuran tradisional selama proses pengeringan.

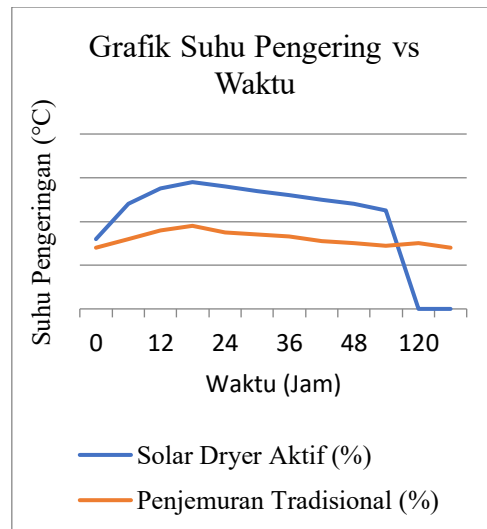
Tabel 1. Suhu Rata-rata Selama Pengeringan (°C)

Waktu (jam)	Solar Dryer Aktif (°C)	Penjemuran Tradisional (°C)
0	32	28
6	48	32
12	55	36
18	58	38
24	56	35
30	54	34
36	52	33
42	50	31
48	48	30
72	45	29
120	–	30
144	–	28

Catatan:

1. Data suhu merupakan nilai rata-rata dari 3 sampel pengeringan untuk masing-masing metode.
2. Setiap sampel memiliki massa bahan awal yang sama dan dikeringkan pada kondisi lingkungan yang relatif seragam.
3. Tanda (–) menunjukkan bahwa proses pengeringan pada *solar dryer* aktif telah selesai sebelum waktu pengamatan tersebut.

Data Grafik Kadar Air vs Waktu menunjukkan penurunan kadar air biji kakao terhadap waktu untuk kedua metode pengeringan.



Gambar 5. Grafik Suhu Pengering vs Waktu

Dari Grafik 5 menunjukkan bahwa *solar dryer* aktif menghasilkan suhu pengeringan yang lebih tinggi dan stabil dibandingkan penjemuran tradisional. Suhu *solar dryer* aktif meningkat cepat hingga mencapai puncak 58 °C pada jam ke-18 dan tetap berada pada kisaran efektif hingga proses pengeringan selesai pada jam ke-72, sedangkan penjemuran tradisional hanya mencapai suhu maksimum sekitar 38 °C dan memerlukan waktu pengeringan jauh lebih lama hingga 144 jam. Hal ini menegaskan bahwa penggunaan ventilasi aktif berbasis energi surya mampu meningkatkan efisiensi dan mempercepat proses pengeringan secara signifikan.

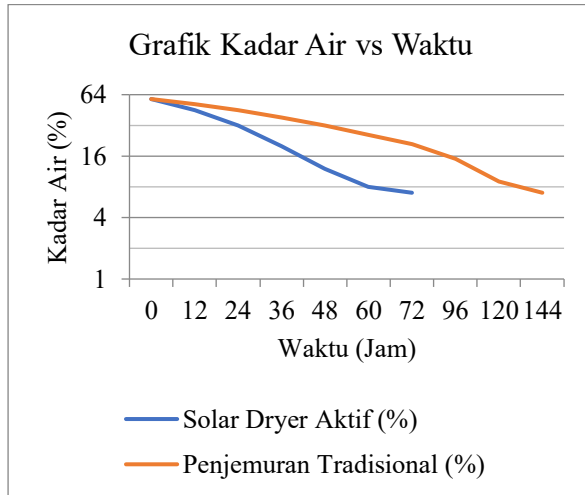
Tabel 2. Penurunan Kadar Air Biji Kakao (% wb)

Waktu (jam)	Solar Dryer Aktif (%)	Penjemuran Tradisional (%)
0	58	58
12	45	52
24	32	45
36	20	38
48	12	32
60	8	26
72	7	21
96	–	15
120	–	9
144	–	7

Catatan:

Kadar air target tercapai pada $\pm 7\%$.

Laju pengeringan berisi nilai kadar air awal, kadar air akhir, waktu pengeringan total, serta laju pengeringan rata-rata (%/jam) untuk *solar dryer* aktif dan penjemuran tradisional.



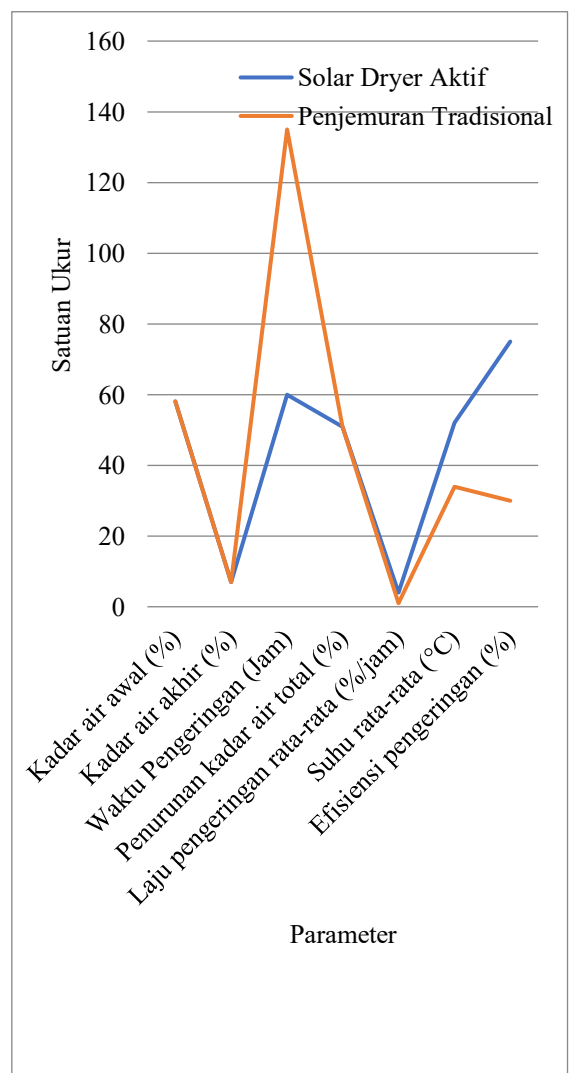
Gambar 6. Grafik Kadar Air vs Waktu

Dari Grafik 6 menunjukkan bahwa penurunan kadar air biji kakao dengan *solar dryer* aktif berlangsung jauh lebih cepat dan efisien dibandingkan penjemuran tradisional. Kadar air turun signifikan dari 58% menjadi mendekati target 7% hanya dalam 72 jam, mencerminkan efektivitas suhu tinggi dan aliran udara terkontrol dalam mempercepat difusi uap air dari bahan. Sebaliknya, penjemuran tradisional mengalami penurunan kadar air yang lebih lambat dan baru mencapai kadar air serupa setelah 144 jam, akibat keterbatasan suhu dan ketergantungan pada kondisi cuaca. Hasil ini menegaskan bahwa *solar dryer* aktif mampu mempercepat proses pengeringan dan meningkatkan efisiensi waktu secara signifikan.

Tabel 3. Perbandingan Kinerja Pengeringan

Parameter	Solar Dryer Aktif	Penjemuran Tradisional
Kadar air awal (%)	58	58

Kadar air akhir (%)	7	7
Waktu pengeringan (jam)	48–72	120–144
Penurunan kadar air total (%)	51	51
Laju pengeringan rata-rata (%/jam)	1,2 – 1,8	0,5 – 0,7
Suhu rata-rata (°C)	45 – 60	28 – 40
Efisiensi pengeringan (%)	60 – 90	25 – 35



Gambar 7. Perbandingan Kinerja Pengerinan

Dari Gambar 7 menunjukkan bahwa *solar dryer* aktif memiliki kinerja pengeringan yang jauh lebih unggul dibandingkan penjemuran tradisional. Meskipun kedua metode memiliki kadar air awal dan akhir yang sama, solar dryer aktif mampu mencapai kadar air target dalam waktu yang jauh lebih singkat (48–72 jam) dengan laju pengeringan rata-rata lebih tinggi, didukung oleh suhu operasi yang lebih tinggi dan stabil. Efisiensi pengeringan yang mencapai 60–90% juga mengindikasikan pemanfaatan energi panas yang lebih optimal, sedangkan penjemuran tradisional menunjukkan laju pengeringan rendah dan efisiensi terbatas akibat ketergantungan pada kondisi lingkungan. Hasil ini menegaskan efektivitas sistem ventilasi aktif berbasis energi surya dalam meningkatkan performa pengeringan secara signifikan.

Kesimpulan

Penelitian ini membuktikan bahwa *solar dryer* aktif meningkatkan efisiensi, kecepatan, dan mutu pengeringan biji kakao secara signifikan dibandingkan metode penjemuran tradisional. Teknologi ini mampu mempercepat pengeringan hingga 50%, menghasilkan biji kakao dengan mutu fisik dan kimia yang lebih baik, serta menurunkan potensi kontaminasi mikroba secara signifikan. Stabilitas suhu dan perlindungan terhadap cuaca membuat alat ini sangat potensial untuk diterapkan oleh petani kakao.

Rekomendasi penelitian lanjutan meliputi pengembangan alat *solar dryer* aktif dalam skala yang lebih besar sehingga dapat diuji pada kondisi produksi massal dan diaplikasikan oleh kelompok tani atau unit pengolahan kakao berskala industri kecil.

Selain itu, integrasi sistem kontrol otomatis berbasis sensor IoT sangat disarankan agar suhu dan kelembapan dapat dimonitor secara real-time untuk

meningkatkan konsistensi mutu hasil pengeringan.

Kajian ekonomi yang lebih komprehensif juga diperlukan, mencakup perhitungan biaya produksi, keuntungan jangka panjang, serta analisis kelayakan usaha agar teknologi ini dapat diadopsi secara luas oleh pengguna.

Pengujian di berbagai kondisi musim perlu dilakukan untuk memastikan bahwa performa alat tetap stabil sepanjang tahun dan dapat berfungsi optimal pada rentang cuaca tropis yang bervariasi.

Referensi

- [1] K. Pasuruan, F. Rozci, T. Harfiani, F. Kurniawan, dan P. N. Brenadevari, “Pendampingan Pengolahan Buah Kakao Menjadi Bubuk Coklat di Desa,” vol. 4, no. 3, hal. 533–540, 2025.
- [2] T. Paper, “Kajian Fermentasi dan Suhu Pengeringan pada Mutu Kakao (*Theobroma cacao* L .),” hal. 129–135.
- [3] N. Lampung dan B. Lampung, “Model Fermentasi Kakao secara Alami Menggunakan Daun Pisang Batu (*Musa balbisiana*) untuk Menghasilkan Biji Kakao Bermutu,” vol. 6, no. 1, hal. 25–32, 2023.
- [4] W. Naibaho, T. Naibaho, E. H. Saragih, dan W. O. Basten, “Pelatihan Penggunaan Mesin Pengering Cengkeh dengan Menggunakan Gas Lpg di Kecamatan Ronggurnihuta,” vol. 4, no. 3, hal. 690–694, 2025.
- [5] A. S. Pongsapan dan R. Allo, “KARAKTERISTIK PENERING SURYA (SOLAR DRYER) DENGAN TURBIN VENTILATOR,” vol. 03, no. 2, hal. 1–9, 2022.
- [6] A. M. Cipta, “Analisis Teoretis Desain Alat Pemanas Tenaga Surya dalam Menunjang Efisiensi Pengeringan Gabah,” vol. 1, no. 3, hal. 62–68, 2025.

- [7] E. Of *et al.*, “PENGARUH EMPAT ALAT PENGERING TERHADAP KADAR,” vol. 13, no. 1, hal. 71–80, 2017.
- [8] A. F. Nurhasanah dan U. Jember, “KAJIAN PERUBAHAN IKLIM TERHADAP EFISIENSI PANEL SURYA,” vol. 7, no. 2, hal. 366–375.
- [9] R. A. Rayes, A. A. Nugroho, M. R. Solehudin, A. Risky, dan R. Anugrah, “Literature Review : The Application of Solar Dryer Technology as an Alternative Method for Drying Salted Fish in Pahandut District , Palangka Raya City Studi Literatur : Penerapan Teknologi Solar Dryer sebagai Alternatif Pengeringan Ikan Asin di Kecamatan,” vol. 1, hal. 38–42, 2025.
- [10] A. Lolok dan M. L. Patanduk, “Prototipe Pembangkit Listrik Tenaga Surya Sebagai Sumber Energi Listrik Pada Alat Ultrasonic,” hal. 73–76, 2023.
- [11] A. Asrori, P. N. Malang, E. Yudiyanto, dan P. N. Malang, *Teknologi panel surya*, no. September. 2025.
- [12] E. Saputra, D. Cherie, D. Teknik, F. T. Pertanian, dan U. Andalas, “Pengaruh Suhu Pengeringan terhadap Mutu Kakao (*Theobroma cacao L.*) Varietas Klon BL 50 Pasca Fermentasi,” vol. 17, no. 2, 2023, doi: 10.24198/jt.vol17n2.4.
- [13] A. Jamaldi *et al.*, “Rancang Bangun dan Pengujian Prototype Hybrid Solar Dryer,” vol. 17, no. 2, hal. 220–226, 2024.
- [14] E. Solar, D. Untuk, P. Ikan, dan D. A. N. Pisang, “Jurnal simetrik vol 13, no.1, juni 2023,” vol. 13, no. 1, hal. 638–649, 2023.
- [15] T. Lestari, E. Darmawati, dan E. H. Purwanto, “COMBINATION OF DRYING AND MECHANICAL DRYING METHODS TO IMPROVE THE QUALITY OF DRIED COCOA BEANS,” 2020.
- [16] M. Waruwu, S. Natijatul, P. R. Utami, dan E. Yanti, “Metode Penelitian Kuantitatif : Konsep , Jenis , Tahapan dan Kelebihan,” vol. 10, hal. 917–932, 2025.