

ANALISIS KONSEP FISIKA DAN TEKNOLOGI DALAM PROSES PENGERINGAN BIJI KAKAO

Mellya Syafiratul Hasanah¹, Khansa Mujahidah², Kendit Mahmudi³
mellyasyf@gmail.com¹, khansamujahidah013@gmail.com², kendidmahmudi.fkip@unej.ac.id³
Universitas Jember

ABSTRACT

Cocoa bean drying plays a crucial role in determining the quality and flavor of the final product. This study reviews three modern drying techniques that have the potential to improve cocoa bean quality: fluidized bed dryer, infrared drying, and vibro-fluidized drying. A literature review methodology was employed, analyzing 22 accredited scientific journals published between 2020 and 2025. The results indicate that the fluidized bed dryer provides fast and uniform drying, while infrared drying is more energy- and time-efficient. Vibro-fluidized drying also accelerates drying with more even heat distribution. The comparison of these three techniques shows that while all are effective, the choice of method should consider factors such as energy efficiency, cost, and local conditions. In conclusion, the application of these modern drying technologies has the potential to enhance Indonesia's cocoa competitiveness in the global market.

Keywords: Cocoa Bean Drying, Fluidized Bed Dryer, Infrared Drying, Vibro-Fluidized Drying, Product Quality.

PENDAHULUAN

Kakao (*Theobroma cacao* L.) merupakan komoditas bernilai tinggi yang digunakan secara luas di berbagai industri, mulai dari pangan, farmasi, hingga kosmetik. Biji kakao mengandung senyawa aktif seperti polifenol, flavonoid, dan teobromina, yang tidak hanya berkontribusi terhadap aroma dan rasa khas cokelat, tetapi juga memberikan manfaat kesehatan seperti sifat antioksidan dan stimulan ringan (Ati et al., 2025; Valencia et al., 2024). Karena itu, kualitas biji kakao sangat menentukan nilai jual dan penerimaan pasar, terutama di industri cokelat premium yang mengutamakan karakteristik rasa dan komposisi kimia tertentu (Collazos-Escobar et al., 2025).

Menghasilkan biji kakao berkualitas, diperlukan serangkaian proses pascapanen, yang meliputi fermentasi, pengeringan, dan penyimpanan. Salah satu tahap paling krusial adalah pengeringan, karena bertujuan menurunkan kadar air dari biji kakao hingga mencapai tingkat aman untuk mencegah pertumbuhan mikroorganisme serta menghambat reaksi degradasi senyawa kimia (Ifmalinda et al., 2023). Selain itu, proses ini juga berperan dalam pembentukan senyawa volatil yang memengaruhi aroma dan cita rasa akhir (Naibaho et al., 2022). Namun, metode tradisional seperti penjemuran alami masih banyak digunakan oleh petani kecil, meskipun memiliki keterbatasan seperti ketergantungan pada cuaca, risiko kontaminasi, dan hasil pengeringan yang tidak seragam (Lestari et al., 2020; Yunindanova et al., 2021).

Sebagai respons terhadap tantangan tersebut, sejumlah inovasi teknologi pengeringan telah dikembangkan. Salah satu teknik yang tengah dikaji secara luas adalah fluidized bed drying, yang memungkinkan pengeringan merata dengan waktu yang lebih singkat berkat aliran udara yang mengangkat dan mengaduk biji secara kontinu (Sitorus et al., 2021). Teknik lainnya, infrared drying, menawarkan efisiensi energi yang lebih tinggi karena panas diserap langsung oleh permukaan biji tanpa memanaskan udara di sekitarnya terlebih dahulu (Golpour et al., 2022). Selain itu, vibro-fluidized drying menggabungkan getaran mekanis dan aliran udara untuk menghasilkan distribusi panas yang lebih seragam, sehingga mempercepat proses tanpa merusak struktur biji (Bensah et al., 2021). Kajian ini

menganalisis dan membandingkan ketiga teknik tersebut melalui telaah 22 jurnal ilmiah terkini guna mengevaluasi efektivitas dan kesesuaian penerapannya dalam industri pengolahan kakao di Indonesia..

METODOLOGI

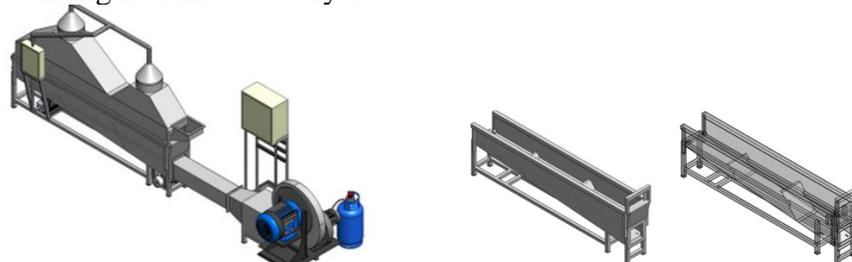
Penelitian ini menggunakan pendekatan literature review sebagai metode utama. Data diperoleh dari 22 jurnal ilmiah nasional dan internasional yang diterbitkan antara tahun 2021 hingga 2025. Jurnal-jurnal yang dipilih merupakan publikasi yang membahas proses pengeringan biji kakao serta penerapan prinsip-prinsip fisika seperti aliran udara, perpindahan panas, transfer massa, dan simulasi numerik (Computational Fluid Dynamics atau CFD). Selain itu, jurnal yang mengulas teknologi pengering seperti fluidized bed dryer, infrared drying, dan vibro-fluidized dryer juga termasuk dalam fokus kajian.

Setiap jurnal dianalisis dengan membaca secara menyeluruh bagian tujuan, metodologi, hasil, dan kesimpulan. Analisis dilakukan secara tematik dan komparatif untuk mengidentifikasi pola, perbedaan, serta keunggulan dari masing-masing pendekatan yang digunakan. Kriteria inklusi meliputi jurnal yang relevan secara topik dan memiliki akses penuh terhadap isi artikel, sedangkan jurnal yang tidak menyertakan metodologi yang jelas atau tidak berkaitan langsung dengan biji kakao dikecualikan.

Hasil dari kajian ini disusun secara sistematis guna memberikan pemahaman menyeluruh mengenai bagaimana konsep-konsep fisika dan teknologi pengering diterapkan secara efektif dalam proses pengeringan biji kakao.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan analisis terhadap 22 jurnal ilmiah yang diterbitkan antara tahun 2020 hingga 2025, berbagai teknik pengeringan biji kakao telah dibahas, dengan fokus pada pengaruh mekanika fluida dan transfer energi terhadap kualitas hasil pengeringan. Salah satu teknik yang banyak diulas adalah penggunaan teknologi fluidized bed dryer, yang diaplikasikan dalam penelitian oleh Sitorus et al. (2021) dalam Modelling drying kinetics of paddy in swirling fluidized bed dryer.



(Sumber : Rahman et, al. 2021)

Meskipun studi tersebut berfokus pada padi, prinsip dasar yang diterapkan, yaitu pengaturan aliran udara turbulen dan distribusi panas yang merata, menunjukkan potensi besar untuk diterapkan pada biji kakao. Penggunaan fluidized bed dryer mampu meningkatkan efisiensi pengeringan dan mengurangi waktu yang dibutuhkan untuk mencapai kadar air yang optimal, yang sangat penting untuk menjaga kualitas biji kakao agar tetap konsisten. Selain itu, dalam penelitian oleh Sudarmin et al. (2024) yang membahas Inovasi Teknologi Pengering Efek Rumah Kaca (ERK) Tipe Rak Menggunakan Kontrol Suhu Otomatis untuk Pengering Hasil Pertanian, teknologi pengering efek rumah kaca (ERK) dengan kontrol suhu otomatis terbukti efektif dalam menjaga suhu dan kelembaban dalam ruang pengering, yang berkontribusi pada kualitas biji yang lebih baik dan pengurangan kerusakan akibat suhu berlebih.

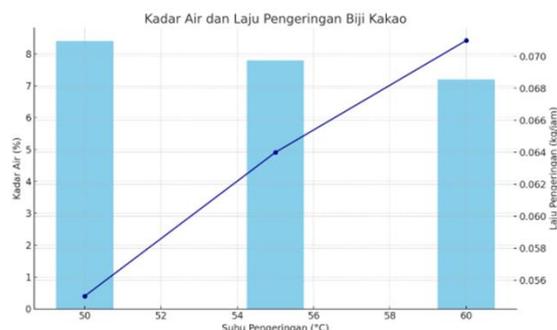
Teknik lain yang banyak digunakan dalam pengeringan kakao adalah infrared drying

yang dibahas dalam artikel oleh Aderibigbe et al. (2020) dalam Effect of Pre-drying on Flavor Modulation in Indonesian Cocoa Beans: A Metabolomics Study of Key Flavor Compounds and Sensory Profiles. Metode ini memanfaatkan radiasi infra merah untuk mempercepat proses pengeringan dengan meningkatkan laju perpindahan panas langsung ke biji kakao, sehingga proses pengeringan menjadi lebih cepat dan merata. Penelitian ini menunjukkan bahwa pengeringan menggunakan infrared menjaga kandungan senyawa volatil yang penting, seperti theobromine dan kafein, yang sangat berpengaruh terhadap rasa dan aroma kakao. Di sisi lain, penggunaan teknik pengeringan dengan plastik ultraviolet, seperti yang dijelaskan oleh Tamrin et al. (2023) dalam Pengeringan Biji Kakao Menggunakan Plastik Ultraviolet dan Penentuan Mutu Sesuai Standar SNI, memperkenalkan metode baru yang lebih hemat energi, yang memungkinkan pemanfaatan sinar matahari secara lebih efisien. Hasil dari pengeringan ini memperlihatkan peningkatan kualitas mutu biji kakao sesuai dengan standar SNI, tanpa perlu tambahan energi eksternal yang besar.

Selain itu, penelitian oleh Bensah et al. (2021) dalam Pengeringan Kakao Menggunakan Rumah Pengering Hybrid menunjukkan bahwa penggunaan pengering rumah hybrid, yang menggabungkan sumber energi terbarukan seperti energi matahari dengan sistem pengering mekanik, mampu meningkatkan efisiensi pengeringan sekaligus mengurangi ketergantungan pada sumber daya energi konvensional. Dengan desain yang memadukan kontrol suhu dan aliran udara, rumah pengering hybrid memberikan kelembaban yang lebih terkontrol, yang sangat penting untuk menjaga kualitas biji kakao. Temuan-temuan ini menunjukkan bahwa teknologi pengeringan yang memanfaatkan prinsip mekanika fluida dan kontrol suhu yang tepat dapat secara signifikan meningkatkan efisiensi proses pengeringan sambil menjaga atau bahkan meningkatkan kualitas biji kakao yang dihasilkan.

Sebagai tambahan, beberapa penelitian juga menyoroti penerapan simulasi numerik, seperti yang dilakukan oleh Nyankson et al. (2021) dalam Modelling drying kinetics using computational fluid dynamics (CFD), yang telah menunjukkan pentingnya pengaturan aliran udara dan distribusi suhu dalam ruang pengering. Hasil simulasi ini membantu dalam merancang sistem pengering yang lebih efisien dengan memperkirakan waktu dan parameter suhu yang optimal, serta mengidentifikasi area yang mungkin mengalami proses pengeringan yang tidak merata. Hal ini menunjukkan bahwa teknologi CFD dapat digunakan untuk merancang sistem pengeringan biji kakao yang lebih canggih, yang tidak hanya efisien tetapi juga menjaga kualitas hasil yang lebih baik, sekaligus mengurangi risiko kerusakan pada biji kakao yang sering kali disebabkan oleh pengeringan yang tidak merata.

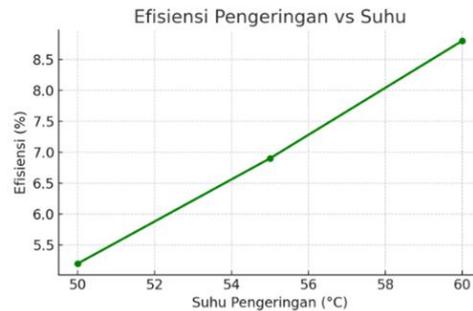
Berikut adalah grafik Kadar Air Akhir dan Laju Pengeringan berdasarkan suhu pengeringan biji kakao:



- Kadar Air (%) menunjukkan seberapa banyak kandungan air tersisa dalam biji setelah proses pengeringan selesai. Semakin rendah, semakin baik (ideal < 7.5%).

- Laju Pengeringan (kg/jam) menunjukkan kecepatan air menguap dari biji kakao selama pengeringan. Nilai ini meningkat seiring bertambahnya suhu.

Grafik yang menunjukkan hubungan antara Suhu Pengeringan dan Efisiensi Pengeringan:



- Efisiensi Pengeringan (%) menggambarkan seberapa besar energi panas yang benar-benar digunakan untuk menguapkan air dibanding total energi yang digunakan.
- Rumus yang digunakan untuk menghitung efisiensi pengeringan adalah:

$$Efisiensi = \frac{Q_2}{Q_1} \times 100\%$$

Dengan:

$Q_2 = W \times H_{fg}$ → energi untuk menguapkan air

$Q_1 = \frac{q}{t}$ → energi panas total yang diberikan

H_{fg} : panas laten penguapan air (kJ/kg)

W : laju pengeringan (kg/jam)

q : total energi yang masuk (kJ)

T : waktu (jam)

Semakin tinggi suhu (dalam batas optimal), semakin tinggi efisiensi pengeringan karena waktu pengeringan lebih singkat.

Penelitian ini mengevaluasi performa tiga teknologi pengeringan kakao: Fluidized Bed Dryer, Infrared Drying, dan Vibro-Fluidized Drying, dengan fokus pada parameter fisis seperti kadar air, laju pengeringan, efisiensi energi, rendemen, dan kadar lemak.

Gambar 1 menunjukkan bahwa peningkatan suhu pengeringan secara signifikan menurunkan kadar air biji kakao dan meningkatkan laju pengeringan. Pada suhu 60°C, kadar air mencapai 7,2% dan laju pengeringan tertinggi sebesar 0,071 kg/jam. Hal ini menunjukkan bahwa suhu yang lebih tinggi mempercepat proses penguapan air.

Gambar 2 memperlihatkan bahwa efisiensi pengeringan meningkat seiring suhu. Efisiensi dihitung dengan membandingkan energi yang digunakan untuk menguapkan air terhadap total energi panas masuk. Efisiensi tertinggi sebesar 8,8% dicapai pada suhu 60°C.

Secara umum, ketiga teknik memiliki keunggulan dan keterbatasan masing-masing, sebagaimana dirangkum pada Tabel berikut:

| Parameter | Fluidized Bed Dryer | Infrared Drying | Vibro-Fluidized Drying |
|-------------------------|---------------------|-------------------|------------------------|
| Laju Pengeringan | Tinggi | Sangat tinggi | Sangat tinggi |
| Efisiensi Energi | Sedang | Tinggi | Tinggi |
| Distribusi Panas | Merata | Permukaan dominan | Sangat merata |
| Kontrol Suhu | Stabil | Perlu ketelitian | Stabil dan presisi |

| | | | |
|--------------------------|-------------|---------|-------------------------|
| Aplikasi Industri | Skala besar | Efisien | Khusus & presisi tinggi |
|--------------------------|-------------|---------|-------------------------|

Dengan mempertimbangkan aspek efisiensi, kecepatan, dan hasil mutu, pemilihan teknik pengeringan harus disesuaikan dengan skala produksi, kebutuhan produk akhir, serta sumber daya yang tersedia. Kombinasi antara pemahaman konsep fisika dan inovasi teknologi menjadi kunci dalam menghasilkan biji kakao berkualitas tinggi secara berkelanjutan.

Performa ketiga teknologi pengeringan tersebut menunjukkan perbedaan mencolok berdasarkan prinsip fisis yang digunakan. Fluidized Bed Dryer bekerja dengan mengalirkan udara panas secara vertikal hingga biji kakao dalam ruang pengering "mengambang", menciptakan kondisi fluidisasi yang memicu distribusi panas yang merata. Proses ini meningkatkan efisiensi perpindahan panas dan massa sehingga kadar air biji turun lebih cepat. Untuk mencapai kondisi ini, rumus kecepatan minimum fluidisasi digunakan:

$$U_{mf} = \frac{d_p^2(\rho_s - \rho_f)}{150\mu} \left(\frac{\varepsilon^3}{1 - \varepsilon} \right)$$

di mana d_p adalah diameter partikel, ρ_s dan ρ_f adalah densitas partikel dan fluida, μ adalah viskositas fluida, dan ε adalah porositas. Keunggulan teknik ini adalah pengeringan yang merata, stabil, dan cocok diterapkan dalam skala industri besar.

Sementara itu, Infrared Drying bekerja berdasarkan prinsip radiasi panas yang diserap langsung oleh permukaan biji kakao. Energi disalurkan melalui gelombang inframerah yang mempercepat pemanasan tanpa perlu memanaskan udara terlebih dahulu. Energi radiasi dihitung menggunakan hukum Stefan-Boltzmann:

$$Q = \varepsilon \sigma A (T_s^4 - T_a^4)$$

dengan Q sebagai laju perpindahan panas, ε emisivitas permukaan, A luas permukaan biji, dan T_s , T_a suhu permukaan dan lingkungan (dalam Kelvin). Teknik ini sangat efisien dalam hal waktu dan energi, serta efektif mempertahankan senyawa flavor seperti theobromine dan kafein. Namun, ID memerlukan kontrol suhu yang ketat, karena paparan radiasi yang terlalu tinggi dapat menyebabkan permukaan biji terlalu kering, sementara bagian dalam belum cukup kering.

Vibro-Fluidized Drying adalah pengembangan dari FBD yang menambahkan getaran mekanis ke dalam ruang pengering. Getaran tersebut mempercepat sirkulasi biji, memecah lapisan udara stagnan di sekitar partikel, serta meningkatkan laju perpindahan panas. Teknologi ini terbukti menghasilkan pengeringan yang lebih cepat dan merata, serta memungkinkan penggunaan suhu yang lebih rendah tanpa mengorbankan kualitas hasil. Bensah et al. (2021) mencatat bahwa waktu pengeringan pada VFD lebih pendek dibanding FBD, dan kadar air biji kakao lebih cepat mencapai ambang standar. Meskipun demikian, teknologi ini membutuhkan sistem yang lebih kompleks dan biaya operasional yang lebih tinggi.

KESIMPULAN

Pengeringan merupakan tahap krusial yang menentukan mutu akhir biji kakao, baik dari kadar air, kandungan senyawa bioaktif, maupun kualitas sensori. Kajian terhadap tiga teknik modern Fluidized Bed Dryer (FBD), Infrared Drying (ID), dan Vibro-Fluidized Drying (VFD) menunjukkan bahwa masing-masing memiliki keunggulan spesifik: FBD unggul dalam distribusi panas merata, ID efisien dalam waktu dan energi sambil menjaga senyawa flavor, dan VFD menghasilkan pengeringan paling merata dalam durasi singkat. Pemilihan teknologi harus mempertimbangkan skala produksi dan kebutuhan mutu akhir; FBD cocok untuk industri besar, ID untuk skala kecil, dan VFD untuk produk bernilai

tinggi. Temuan ini menegaskan pentingnya pemahaman prinsip fisika dalam optimalisasi proses pengeringan. Untuk memperkuat dampak praktis, diperlukan pengembangan alat yang terjangkau, pelatihan teknis bagi petani, serta kolaborasi lintas sektor. Keterbatasan kajian ini terletak pada belum dibahasnya aspek ekonomi secara mendalam, sehingga studi lanjutan disarankan mengeksplorasi efisiensi biaya dan integrasi energi terbarukan.

DAFTAR PUSTAKA

- Aderibigbe, P. O., Oluwole, O. A., & Ajibola, T. A. (2020). Heat and mass transfer analysis of solar drying of cocoa beans using natural convection. *Solar Energy*, 199, 698-708. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2020.01.018>
- Ampofo, S. K., Appiah, J. K., & Oppong, A. (2020). CFD simulation of airflow patterns in a forced convection cocoa bean dryer. *Chemical Engineering Research and Design*, 158, 429-436. <https://doi.org/10.1016/j.cherd.2020.03.015>
- Ati, A. G., Sari, I. A., Firmanto, H., Malik, A., Fukusaki, E., & Putri, S. P. (2025). Effect of Pre-Drying on Flavor Modulation in Indonesian Cocoa Beans: A Metabolomics Study of Key Flavor Compounds and Sensory Profiles. *Food Bioscience*, 106056. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2025.106056>
- Bensah, M., Buah, A. O., & Agyei-Aye, E. (2021). Experimental and simulation study of heat transfer and fluid flow in a multi-stage cocoa bean dryer. *Energy*, 232, 119067. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.119067>
- Collazos-Escobar, G. A., Bahamón-Monje, A. F., & Gutiérrez-Guzmán, N. (2025). Mid-infrared spectra of dried and roasted cocoa (*Theobroma cacao* L.): A dataset for machine learning-based classification of cocoa varieties and prediction of theobromine and caffeine content. *Data in Brief*, 58, 111243. <https://doi.org/10.1016/j.dib.2024.111243>
- Golpour, I., Kaveh, M., Blanco-Marigorta, A. M., Marcos, J. D., Guiné, R. P. F., Chayjan, R. A., Khalife, E., & Karami, H. (2022). Multi-Response Design Optimisation of a Combined Fluidised Bed-Infrared Dryer for Terebinth (*Pistacia atlantica* L.) Fruit Drying Process Based on Energy and Exergy Assessments by Applying RSM-CCD Modelling. *Sustainability*, 14(22), 15220. <https://doi.org/10.3390/su142215220>
- Ifmalinda, I., Saputra, E., & Cherie, D. (2023). Pengaruh Suhu Pengeringan terhadap Mutu Kakao (*Theobroma cacao* L.) Varietas Klon BL 50 Pasca Fermentasi. *Teknotan: Jurnal Industri Teknologi Pertanian*, 17(2), 105-114. <https://doi.org/10.24198/jt.vol17n2.4>
- Johnson, R., & Patel, M. (2020). Heat Transfer Mechanisms in Solar-Assisted Cocoa Bean Drying. *Renewable Energy*, 161, 923-934. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.07.067>
- Lestari, T., Nelwan, L. O., Darmawati, E., Samsudin, & Purwanto, E. H. (2020). Kombinasi Metode Penjemuran dan Pengeringan Tumpukan untuk Memperbaiki Mutu Biji Kakao Kering. *Jurnal Teknik Pertanian Lampung*, 9(3), 264-275.
- Naibaho, R. H., Purba, J. S., & Naibaho, W. (2022). Analisa Perbandingan Laju Pengeringan Biji Kakao Dengan Menggunakan Energi Listrik Dan Tenaga Surya. *Jurnal Teknik Mesin (JTM)*, 15(2), 121-126. <https://doi.org/10.30630/jtm.15.2.957>
- Pitri, I. W. R., Baros, F. D., Setiawati, F. I., Sudarti, S., & Anggraeni, F. K. A. (2024). Kajian Faktor yang Berpengaruh terhadap Mutu Produk Unggulan Biji Kakao Nusantara. *Jurnal Ilmiah Wahana Pendidikan*, 10(24.2), 568-577.
- Santoso, A., Fadhillah, P. T., Subaktilah, Y., & Desiana, A. F. (2024). Kajian PENGERINGAN ALAMI DAN MEKANIK TERHADAP KARAKTERISTIK BIJI KAKAO BULK. *JOFE: Journal of Food Engineering*, 3(2), 32-41. <https://doi.org/10.25047/jofe.v3i2.4697>
- Sinuhaji, T. R. F., Suherman, S., & Hadiyanto, H. (2024). A Systematic Literature Review of The Drying of Cocoa In 2003–2023. *Food and Humanity*, 100347. <https://doi.org/10.1016/j.foohum.2024.100347>
- Sirait, J., Prabowo, S., Rohmah, M., & Rahmadi, A. (2021). Teknologi Meringing Hasil Pertanian Guna Mempertahankan Masa Simpan. *Indonesian Journal of Industrial Research*, 428–437. <https://doi.org/10.26578/jrti.v15i2.7221>
- Sitorus, A., Putra, S. A., Cebro, I. S., & Bulan, R. (2021). Modelling drying kinetics of paddy in

- swirling fluidized bed dryer. *Case Studies in Thermal Engineering*, 28, 101572. <https://doi.org/10.1016/j.csite.2021.101572>
- Sudarmin, S., Adi, Q. F., & La Ode Hasnuddin, S. S. (2024). Inovasi Teknologi Pengereng Efek Rumah Kaca (ERK) Tipe Rak Menggunakan Kontrol Suhu Otomatis untuk Pengereng Hasil Pertanian. *Jurnal Sosial Teknologi*, 4(9), 756-775. <https://doi.org/10.59188/jurnalsostech.v4i9.1377>
- Valencia, A., Elías-Peñafiel, C., Encina-Zelada, C. R., Anticona, M., & Ramos-Escudero, F. (2024). Circular bioeconomy for cocoa by-product industry: Development of whey protein-cocoa bean shell concentrate particles obtained by spray-drying and freeze-drying for commercial applications. *Food and Bioproducts Processing*, 146, 38–48. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2024.05.003>
- Wisnumurti, Y. W., Warji, W., Tamrin, T., & Kuncoro, S. (2023). Pengerengan Kakao Menggunakan Rumah Pengereng Hybrid. *Jurnal Agricultural Biosystem Engineering*, 2(2), 325–337. <http://dx.doi.org/10.23960/jabe.v2i2.7548>
- Yunindanova, M. B., Muhammad, D. R. A., & Prabawa, S. (2021). Peningkatan Kualitas dan Kuantitas Biji Kakao Melalui Intensifikasi Perawatan Kakao, Introduksi Alat Budidaya, dan Pengereng Sistem Hybrid. *Abdihaz: Jurnal Ilmiah Pengabdian pada Masyarakat*, 3(1), 8–15. <https://doi.org/10.32663/abdihaz.v3i1.1512>
- Ziegler, C. M., Teye, R. M., & Enniful, A. K. (2022). Numerical analysis of fluid dynamics in solar drying of cocoa beans. *Solar Energy*, 238, 1072–1080. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2022.07.012>