



## Analisis Konsep Fisika Pada Teknologi Pengeringan Hasil Perkebunan

Qanita Hukma Ash-Shaba<sup>1</sup>, Vivian Muzayyadah<sup>2</sup>, Sudarti<sup>3</sup>, Kendid Mahmudi<sup>4</sup>

<sup>1234</sup>Program Studi Pendidikan Fisika FKIP Universitas Jember

---

Received:	05 September 2025	<b>Abstrak</b>
Revised:	17 September 2025	<i>Pengeringan merupakan salah satu tahap paling krusial dalam proses pascapanen hasil perkebunan, terutama pada komoditas utama seperti kopi dan kakao. Kualitas akhir, ketahanan simpan, serta nilai jual dari biji kopi dan kakao sangat dipengaruhi oleh proses pengeringan yang tepat dan efisien. Dalam beberapa tahun terakhir, penggunaan teknologi pengering modern seperti heat pump dryer dan solar tunnel dryer semakin berkembang untuk menggantikan metode pengeringan konvensional yang tidak efisien dan bergantung pada kondisi cuaca. Artikel ini bertujuan untuk menganalisis berbagai konsep fisika yang berperan penting dalam kedua sistem pengering tersebut. Fokus pembahasan meliputi prinsip dasar termodinamika, perpindahan kalor (konduksi, konveksi, radiasi), mekanika fluida, serta sifat termal material hasil perkebunan. Dengan memahami prinsip-prinsip fisika yang mendasari teknologi pengering ini, diharapkan proses pengolahan hasil perkebunan dapat berjalan lebih optimal, hemat energi, dan tetap menjaga mutu produk. Artikel ini menjadi dasar teoritis yang penting untuk mendukung pemanfaatan teknologi pascapanen yang lebih efisien dan ramah lingkungan.</i>
Accepted:	28 September 2025	<b>Kata Kunci:</b> <i>pengeringan, kopi, kakao, heat pump dryer, solar tunnel dryer</i>

(\*) Corresponding Author: [vivianmuzayyadah6@gmail.com](mailto:vivianmuzayyadah6@gmail.com) , [sudarti.fkip@unej.ac.id](mailto:sudarti.fkip@unej.ac.id)

**How to Cite:** Ash-Shaba, Q., Muzayyadah, V., Sudarti, S., & Mahmudi, K. (2025). Analisis Konsep Fisika Pada Teknologi Pengeringan Hasil Perkebunan. *Jurnal Ilmiah Wahana Pendidikan*, 11(10.B), 310-315. Retrieved from <https://jurnal.peneliti.net/index.php/JIWP/article/view/13029>.

---

### PENDAHULUAN

Hasil perkebunan seperti kopi, kakao, teh, dan rempah-rempah merupakan komoditas unggulan Indonesia yang memiliki nilai ekonomi tinggi. Kualitas produk hasil perkebunan sangat bergantung pada proses pasca panen, khususnya tahap pengeringan. Proses ini bertujuan untuk menurunkan kadar air bahan agar lebih awet, mencegah pertumbuhan mikroorganisme, serta mempertahankan mutu aroma, warna, dan rasa (Lutfi *et al.*, 2023). Namun, pengeringan secara konvensional yang mengandalkan sinar matahari sering kali mengalami berbagai kendala seperti waktu yang lama, ketergantungan terhadap kondisi cuaca, serta risiko kontaminasi debu dan mikroba (Sitompul *et al.*, 2002).

Seiring perkembangan teknologi, berbagai sistem pengering modern mulai diterapkan untuk mengatasi kekurangan metode tradisional. Dua teknologi yang saat ini berkembang pesat adalah *heat pump dryer* dan *solar tunnel dryer*. Keduanya dirancang untuk meningkatkan efisiensi pengeringan dan menjaga mutu produk secara optimal. Heat pump dryer bekerja menggunakan prinsip termodinamika dan siklus refrigerasi, di mana sistem ini mampu mengontrol suhu dan kelembaban secara presisi dalam ruang tertutup, serta memanfaatkan kembali energi panas dari proses kondensasi. Teknologi ini cocok digunakan untuk bahan-bahan yang sensitif terhadap suhu tinggi seperti biji kopi dan kakao (Fauzi *et al.*, 2024).

Di sisi lain, solar tunnel dryer mengandalkan energi matahari dalam ruang tertutup berbentuk lorong yang dilapisi material transparan. Energi panas yang masuk ke dalam lorong diserap dan dimanfaatkan secara maksimal untuk mengeringkan bahan, dengan sirkulasi udara

panas yang membantu mempercepat proses penguapan air dari produk pertanian (Tesfaye & Habtu, 2022). Kelebihan teknologi ini adalah hemat energi, lebih higienis dibanding pengeringan terbuka, dan cocok diterapkan di wilayah tropis seperti Indonesia (Jacobus *et al.*, 2023).

Berbagai prinsip fisika terapan sangat berperan penting dalam keberhasilan kedua sistem pengering tersebut, antara lain perpindahan kalor (konduksi, konveksi, dan radiasi), mekanika fluida, serta sifat termal bahan. Pemahaman yang mendalam terhadap konsep-konsep fisika tersebut menjadi dasar penting dalam merancang dan mengoptimalkan teknologi pengeringan yang efisien, ramah lingkungan, dan sesuai dengan kebutuhan pertanian modern (Anugrah, 2021).

## **METODE PENELITIAN**

Studi Literatur Penelitian ini menggunakan pendekatan studi literatur (literature review) dengan mengkaji berbagai sumber ilmiah yang relevan, seperti jurnal internasional dan nasional, prosiding konferensi, buku referensi, dan laporan teknis dari institusi terkait. Proses pencarian literatur dilakukan melalui database seperti Google Scholar, ScienceDirect, SpringerLink, dan ResearchGate, menggunakan kata kunci seperti “solar tunnel dryer”, “heat pump dryer”, “coffee drying”, “cocoa drying”, “drying physics”, dan “drying technology”. Kriteria pemilihan literatur didasarkan pada relevansi topik, tahun publikasi (diutamakan 5 tahun terakhir), dan keterpercayaan sumber. Literatur yang dikaji kemudian dianalisis untuk mengidentifikasi prinsip fisika yang digunakan, parameter teknis, efisiensi energi, dan hasil kualitas pengeringan pada masing-masing teknologi. Analisis dilakukan secara deskriptif-komparatif untuk menyoroti perbedaan dan potensi dari masing-masing teknologi pengeringan.

## **HASIL DAN PEMBAHASAN**

Pengeringan merupakan salah satu tahapan pascapanen yang sangat krusial dalam industri perkebunan, khususnya pada komoditas seperti kopi, teh, dan coklat. Proses ini berperan penting dalam mengurangi kadar air hasil panen sehingga dapat memperpanjang umur simpan, mencegah pertumbuhan mikroorganisme, serta menjaga mutu dan nilai ekonomis produk (Iqbal & Subhan, 2023). Dalam praktiknya, proses pengeringan melibatkan berbagai konsep fisika, terutama yang berkaitan dengan perpindahan panas dan massa, sifat termal bahan, kelembaban relatif, serta pengendalian suhu dan sirkulasi udara (Wulandari *et al.*, 2024).

Pengeringan pada dasarnya melibatkan dua proses utama dalam fisika, yaitu perpindahan panas (heat transfer) dan perpindahan massa (mass transfer). Kedua proses ini saling berinteraksi: panas ditransfer ke bahan untuk menguapkan air, lalu uap air berpindah dari bahan ke udara di sekitarnya. Dua teknologi yang umum digunakan dan mewakili pendekatan berbeda adalah *Solar Tunnel Dryer* dan *Heat Pump Dryer*.

### **1. Solar Tunnel Dryer (Pengeringan Berbasis Energi Matahari)**

Solar Tunnel Dryer bekerja dengan memanfaatkan energi radiasi dari matahari. Cahaya matahari yang terdiri dari gelombang elektromagnetik menembus atap plastik transparan dari terowongan pengering dan mengenai permukaan bagian dalam yang biasanya dicat hitam. Warna hitam memiliki sifat penyerapan radiasi yang sangat tinggi, sehingga permukaan tersebut menjadi panas. Ini merupakan penerapan konsep radiasi panas, yaitu perpindahan energi dalam bentuk gelombang elektromagnetik tanpa memerlukan medium. Radiasi yang diserap kemudian diubah menjadi energi panas (kalor).

Panas yang dihasilkan oleh penyerapan radiasi ini memanaskan udara di dalam terowongan. Dalam fisika, ketika udara dipanaskan, kerapatannya menurun dan ia naik ke atas, sementara udara yang lebih dingin menggantikannya dari bawah. Inilah yang disebut dengan konveksi alami, yakni pergerakan fluida (dalam hal ini udara) karena perbedaan suhu dan

kerapatan. Udara panas yang mengalir ini bersentuhan dengan permukaan bahan (kopi, teh, coklat) yang sedang dikeringkan dan mentransfer panas ke bahan tersebut melalui konduksi, yakni perpindahan panas melalui kontak langsung antara molekul udara dan bahan (Fauzi *et al.*, 2024).

Ketika suhu bahan meningkat, molekul air di dalamnya memperoleh energi kinetik yang cukup untuk melepaskan diri dari ikatan antar molekul cair dan berubah menjadi uap air, suatu proses yang dikenal sebagai evaporasi. Proses evaporasi sangat dipengaruhi oleh suhu udara, kelembaban relatif, dan sirkulasi udara. Udara yang lebih kering memiliki kelembaban relatif yang rendah, sehingga dapat menyerap lebih banyak uap air dari bahan. Di sini, perpindahan massa terjadi, yaitu pergerakan uap air dari bahan ke atmosfer di sekitarnya (Pranata *et al.*, 2023).

Dalam Solar Tunnel Dryer, uap air yang terbentuk akan terbawa oleh aliran udara panas ke luar sistem. Proses ini melibatkan konveksi massa, yaitu perpindahan zat (dalam hal ini uap air) melalui pergerakan udara. Jika sirkulasi udara ditingkatkan dengan kipas, maka terjadi konveksi paksa, yang lebih efektif dalam mengangkat uap air dibanding konveksi alami. Namun, karena Solar Tunnel Dryer sangat bergantung pada cuaca, suhu dan kelembaban udara di dalamnya tidak dapat dikontrol dengan presisi, sehingga proses pengeringan bisa tidak stabil (Jacobus *et al.*, 2023).

## 2. Heat Pump Dryer (Pengeringan Presisi dengan Prinsip Termodinamika)

Berbeda dengan Solar Tunnel Dryer, Heat Pump Dryer menggunakan prinsip termodinamika siklus pompa panas dalam sistem tertutup. Sistem ini bekerja dengan menggunakan fluida kerja (refrigeran) yang mengalami perubahan fase untuk menyerap dan melepaskan panas secara efisien. Siklusnya terdiri dari empat komponen utama: evaporator, kompresor, kondensor, dan katup ekspansi.

Pertama, udara lembab dari ruang pengering ditarik dan dialirkan ke evaporator, yaitu bagian sistem yang bersuhu rendah. Di sini terjadi kondensasi, yakni perubahan fase uap air di udara menjadi air cair karena kehilangan energi panas. Prinsip fisika yang terlibat adalah perpindahan panas dari udara ke permukaan dingin, yang menyebabkan uap air mengalami penurunan energi kinetik dan berubah menjadi cair. Air yang terbentuk dikumpulkan dan dibuang dari sistem, menghasilkan udara kering (Iqbal & Subhan, 2023).

Selanjutnya, udara kering tersebut dialirkan ke kondensor, di mana ia dipanaskan kembali. Panas yang digunakan dalam proses ini berasal dari refrigeran yang dikompresi sebelumnya. Di sinilah terjadi konveksi paksa, di mana udara panas mengalir dengan bantuan blower atau kipas dan masuk kembali ke ruang pengering. Udara kering panas ini menyentuh permukaan bahan, menyebabkan evaporasi air dari bahan menjadi lebih cepat dan efisien. Karena udara tersebut memiliki kelembaban relatif rendah dan suhu yang stabil, ia mampu menyerap uap air lebih banyak dan lebih cepat dibanding Solar Tunnel Dryer (Wulandari *et al.*, 2024).

Yang membuat Heat Pump Dryer unggul adalah kemampuannya untuk mengontrol suhu dan kelembaban secara presisi. Pengendalian ini sangat penting dalam fisika, karena kecepatan evaporasi berbanding lurus dengan perbedaan tekanan uap antara air dalam bahan dan udara di sekitarnya. Dengan menjaga suhu tetap rendah (biasanya sekitar 30–60°C) dan kelembaban udara di bawah ambang tertentu, Heat Pump Dryer dapat menghindari kerusakan termal pada senyawa sensitif seperti enzim, aroma, dan warna dalam bahan seperti teh dan coklat.

Dalam sistem ini, efisiensi energi juga sangat tinggi. Karena sistemnya tertutup, energi panas dapat didaur ulang dan tidak banyak yang hilang ke lingkungan. Ini sesuai dengan prinsip konservasi energi, di mana energi tidak hilang tetapi berubah bentuk dan dimanfaatkan kembali. Refrigeran yang digunakan juga bekerja berdasarkan hukum termodinamika pertama, yaitu bahwa energi total dalam sistem tertutup bersifat konstan (Ifah *et al.*, 2024).

### 3. Analisis Perbandingan

Jika dilihat dari perspektif konsep fisika, Solar Tunnel Dryer lebih menekankan pada penggunaan prinsip alamiah seperti radiasi matahari dan konveksi udara bebas. Sementara itu, Heat Pump Dryer adalah hasil penerapan prinsip fisika modern dan rekayasa sistem tertutup untuk menghasilkan kontrol pengeringan yang sangat presisi.

Aspek Fisika	Solar Tunnel Dryer	Heat Pump Dryer
Sumber Energi	Radiasi Matahari	Kompresor & sistem refrigerasi
Perpindahan Panas	Radiasi & Konveksi alami	Konveksi paksa & Termodinamika Pompa Panas
Kontrol Suhu & Kelembaban	Terbatas, dipengaruhi cuaca	Presisi, dapat dikontrol otomatis
Proses Evaporasi	Terjadi di suhu lingkungan yang meningkat	Dipercepat dengan sirkulasi udara panas
Efisiensi Energi	Sangat tinggi (energi gratis)	Tinggi (hemat energi dibanding dryer)
Konsisten Kualitas	Tergantung cuaca & operator	Sangat konsisten

### 4. Implikasi dalam Industri Perkebunan

Pemilihan teknologi pengeringan sangat bergantung pada kebutuhan, skala usaha, dan jenis komoditas. Untuk petani kecil di daerah tropis yang melimpah sinar matahari, Solar Tunnel Dryer adalah pilihan efisien, murah, dan berkelanjutan. Sedangkan untuk pengolahan hasil perkebunan skala menengah-besar yang membutuhkan standar mutu tinggi dan waktu produksi yang ketat, Heat Pump Dryer lebih ideal.

Selain itu, pemahaman terhadap konsep fisika dalam kedua teknologi ini dapat membantu operator dan teknisi untuk mengoptimalkan proses, menyesuaikan pengaturan suhu, kelembaban, serta waktu pengeringan agar diperoleh produk akhir dengan mutu terbaik.

## KESIMPULAN

Berdasarkan analisis konsep fisika pada teknologi Heat Pump Dryer dan Solar Tunnel Dryer, dapat disimpulkan bahwa kedua metode pengeringan ini memanfaatkan prinsip perpindahan panas dan massa secara efektif namun dengan pendekatan yang berbeda. Solar Tunnel Dryer mengandalkan energi matahari dan konsep radiasi, konveksi, dan evaporasi alami untuk mengeringkan hasil perkebunan seperti kopi, teh, dan coklat secara ramah lingkungan dan ekonomis. Sementara itu, Heat Pump Dryer menerapkan prinsip termodinamika pompa panas, konveksi paksa, dan pengendalian suhu serta kelembaban yang presisi untuk menghasilkan pengeringan yang lebih cepat, efisien, dan konsisten terhadap kualitas.

Dari sisi modernitas, Heat Pump Dryer lebih unggul dalam kontrol dan hasil, tetapi membutuhkan investasi lebih besar. Sebaliknya, Solar Tunnel Dryer menawarkan solusi berkelanjutan dan murah, namun lebih bergantung pada kondisi cuaca. Oleh karena itu,

pemilihan teknologi sebaiknya disesuaikan dengan skala produksi, anggaran, dan target kualitas produk akhir.

## DAFTAR PUSTAKA

- Amiruddin, A., Wijayanto, H. L., Kadriadi, K., & Wirakusuma, K. W. (2022). Perbandingan panas dalam implementasi sistem efek rumah kaca dan sistem tradisional pada pengeringan biji kopi. *Jurnal Ilmiah Universitas Batanghari Jambi*, 22(1), 349. <https://doi.org/10.33087/jiubj.v22i1.1819>
- Fauzi, M. B., Kosasih, E. A., & Dzaky, M. I. (2024). Influence of drying condition on the drying constants and activation energy for robusta coffee using heat pump drying. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1372(1), 012105. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1372/1/012105>
- Frederick, B. D., Ngwabie, N. M., & Bup, N. D. (2022). Effect of modified greenhouse drying technology on the physicochemical quality of Cameroonian cocoa beans. *International Journal of Food Science*, 2022, 9741120. <https://doi.org/10.1155/2022/9741120>
- Ifah, K. N., Wulansari, E. T., Anggraeni, F. K. A., & Septiviana, F. I. (2024). Analisis konsep kelistrikan dalam penggunaan beberapa mesin pengering pertanian. *Jurnal Informasi, Sains dan Teknologi*, 7(1), 131–144. <https://doi.org/10.55606/isaintek.v7i1.212>
- Iqbal, M., & Subhan, M. (2023). Application penerapan metode blending biji kopi dan teknologi green house berbasis solar drier dalam meningkatkan kualitas produk kopi Black Nacawi pada kelompok Badan Usaha Milik Desa (Bumdes) Tunas Muda Desa Oi Bura. *Gravity Edu: Jurnal Pembelajaran dan Pengajaran Fisika*, 6(2), 6–11. <https://doi.org/10.33627/ge.v6i2.1392>
- Jacobus, L., Dwiputranto, S., Gule, R. S., & Patty, E. N. S. (2023). Performance test of solar cabinet dryer and solar tunnel dryer on drying cocoa beans. *Jurnal Scientia*, 12(2), 1702–1714. <http://infor.seaninstitute.org/index.php>
- Kinanti, S. A., Purwadi, P., & Widjajani, B. W. (2023). Pengaruh kombinasi media tanam terhadap sifat fisik tanah dan perakaran beberapa macam bibit porang (*Amorphophallus oncophyllus* Prain). *Jurnal Ilmu-Ilmu Pertanian Indonesia*, 25(2), 91–99. <https://doi.org/10.31764/orbita.v8i1.8395>
- Magfira, D. B., Yudianto, F., Wulan, T. D., Herlambang, T., Budiarti, R. P. N., & Siswanti, A. T. R. (2024). Perancangan IoT sederhana untuk sistem pendeteksi kemurnian kopi bubuk. *Jurnal Tecnosienza*, 9(1), 86–96. <https://doi.org/10.51158/cykvay82>
- Maria, E. (2025). Pelatihan pengeringan buah, biji, dan bean kopi Arabika lereng Merbabu. *Jurnal Abdimas Kartika Wijayakusuma*, 6(1). <https://doi.org/10.26874/jakw.v6i1.553>
- Minoli, C. A. A., Carmona, P. C., Mesa, M., Gil, J. D. V., & Velasquez, J. P. (2024). IoT-based technology for the coffee drying process data analysis of small farmers. *Revista Facultad de Ingeniería*, 33(69), 1. <https://doi.org/10.19053/01211129.v33.n69.2024.17404>
- Novita Sari, E. K., Hermanuadi, D., & Brilliantina, A. (2022). Analisis pindah panas pada pengeringan kulit biji kopi (cascara) dengan menggunakan mesin pengering tipe Flash Dryer\_Cum UV. *Jurnal Teknologi Pangan dan Hasil Pertanian*, 17(1), 9–15. <https://doi.org/10.26623/jtphp.v17i1.4622>
- Pranata, E. A., Zuhaimi, Z., & Zulkifli, Z. (2023). Desain dan analisa alat pengering tipe surya pada pengeringan biji kopi dengan sistem konveksi alami dan pemerataan cahaya matahari menggunakan cermin. *Jurnal Mesin Sains Terapan*, 7(2), 62–70.
- Prasetya, R. A., & Irfan, M. A. (2020). Rancang bangun alat pengering biji kopi menggunakan pemanas kompor gas LPG dengan model roll. *Reaktom: Rekayasa Keteknikan dan Optimasi*, 5(1), 14–21. <https://doi.org/10.32734/dinamis.v7i1.7171>

- Pratiwi, A. S., Salim, M. B., & Prihandono, E. (2024). Pengembangan alat peraga sistem pemilah biji kopi berbasis Arduino Nano untuk pembelajaran fisika agraris. *Jurnal Firnas*, 5(2), 15–24. <https://doi.org/10.36355/jsa.v7i2.804>
- Rahardjo, A. H., Puguh, B., & Solihah, H. A. (2020). Pemanfaatan sumber energi terbarukan melalui pembuatan pengering hibrid surya-biomassa pada pengeringan biji kopi. *Jurnal Teknik Energi*, 4(1), 304–310. <https://doi.org/10.35313/v4i1.1755>
- Rahayuningtyas, A., Hidayat, D. D., Furqon, M., & Santoso, T. (2023). Sistem monitoring dan kontrol suhu alat sangrai biji kopi otomatis berbasis mikrokontroler. *Agrointek: Jurnal Teknologi Industri Pertanian*, 17(2), 449–457. <https://doi.org/10.21107/agrointek.v17i2.14506>
- Ramadhan, R., Syahputra, D., Siahaan, E. W., & Sitanggang, H. (2022). Rancang bangun alat pengering biji pinang menggunakan pengering tipe Hohenheim dengan kolektor surya berkapasitas 5 Kg/Jam. *Jurnal Teknologi Mesin UDA*, 3(2), 285–301. <https://doi.org/10.21111/atj.v6i2.8530>
- Romdhoningsih, D., Dewi, I. N., Mahpudoh, M., Nuralamsyah, F., Sanjaya, C. M., Sinaga, J. S., & Rahmah, F. (2022). Produksi pengolahan kopi dadaman secara tradisional (Cita rasa kopi Robusta dari Desa Citaman Kecamatan Ciomas Kabupaten Serang). *Jurnal Pengabdian Meambo*, 1(2), 106–112. <https://doi.org/10.56742/jpm.v1i2.17>
- Silla, E. M., Dopong, M., Teuf, P. J., & Lipikuni, H. F. (2023). Kajian etnosains pada makanan khas usaku (tepung jagung) sebagai media belajar fisika. *Jurnal Literasi Pendidikan Fisika*, 4(1), 30–39. <https://doi.org/10.30872/jlpf.v4i1.2060>
- Sitompul, D., Malinda, D., & . S. (2021). Pemodelan karakteristik pengeringan dan analisis perpindahan panas pada pengeringan kentang (*Solanum Tuberosum* L.). *Jurnal Rekayasa Hijau*, 5(2), 188–196. <https://doi.org/10.26760/jrh.v5i2.188-196>
- Tesfaye, A., & Habtu, N. G. (2022). Fabrication and performance evaluation of solar tunnel dryer for ginger drying. *International Journal of Photoenergy*, 2022, 6435080. <https://doi.org/10.1155/2022/6435080>
- Wulandari, F. S., & Midawati, M. (2023). Merekam sejarah industri kopi Nur di Sungai Penuh (1984–2019). *Analisis Sejarah: Mencari Jalan Sejarah*, 13(2), 76–88. <https://doi.org/10.25077/jas.v13i2.113>
- Wulandari, W., Rahmadani, D. A., Wati, D. T. A., Putri, K. F., & Hanifah, N. W. (2024). Analisis pengaruh hukum termodinamika dalam proses pengeringan pada jagung menggunakan alat fluidized bed dryer. *Jurnal Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam*, 2(2), 1–6. <https://doi.org/10.3483/trigonometri.v2i2.3380>