

ANALISIS KONSEP FISIKA PERPINDAHAN KALOR PADA TEKNOLOGI PENGERINGAN HASIL PERTANIAN

Attica Putri Nurus Pratami¹, Ariyesha Bahri², Sudarti³

Email: atticaputri@gmail.com¹, ariyeshabahri@gmail.com², sudarti@mail.unej.ac.id³

Universitas Jember

ABSTRAK

Pengeringan merupakan salah satu proses penting dalam pascapanen bahan pertanian, terutama untuk menurunkan kadar air sehingga meningkatkan umur simpan dan kualitas produk. Berbagai teknologi pengeringan telah dikembangkan untuk mengatasi kendala pengeringan konvensional yang sangat bergantung pada kondisi cuaca. Dalam studi ini, dilakukan analisis terhadap konsep perpindahan kalor yang digunakan dalam teknologi pengeringan bahan pertanian, dengan fokus pada sistem pengering berbasis listrik, surya, refrigerasi, serta kombinasi hibrida. Proses perpindahan kalor secara konduksi, konveksi, dan radiasi menjadi dasar kerja dari berbagai desain alat pengering seperti tray dryer, solar dryer, dan rotary dryer. Hasil kajian menunjukkan bahwa efisiensi perpindahan kalor berbanding lurus dengan kualitas pengeringan, suhu pengering, dan laju aliran udara. Pemanfaatan sistem kendali suhu berbasis Internet of Things (IoT), PID (Proportional-Integral-Derivative) controller, serta penambahan reflektor atau thermal storage juga berperan penting dalam meningkatkan efektivitas proses pengeringan. Oleh karena itu, pemahaman mendalam mengenai konsep perpindahan kalor sangat krusial dalam merancang dan mengembangkan alat pengering bahan pertanian yang efisien dan berkelanjutan.

Kata kunci: Pengeringan, Perpindahan Kalor, Konduksi, Konveksi, Iot, Efisiensi Energi.

ABSTRAC

Drying is one of the important processes in post-harvest agricultural materials, especially to reduce water content so as to increase shelf life and product quality. Various drying technologies have been developed to overcome the constraints of conventional drying which is highly dependent on weather conditions. In this study, an analysis of the heat transfer concept used in agricultural material drying technology was conducted, focusing on electricity based, solar based, refrigeration-based, and hybrid combination drying systems. The process of heat transfer by conduction, convection, and radiation is the basis for the work of various drying device designs such as tray dryers, solar dryers, and rotary dryers. The results of the study show that heat transfer efficiency is directly proportional to drying quality, dryer temperature, and air flow rate. The use of an Internet of Things (IoT) based temperature control system, PID (Proportional-Integral-Derivative) controller, and the addition of reflectors or thermal storage also play an important role in increasing the effectiveness of the drying process. Therefore, a deep understanding of the heat transfer concept is crucial in designing and developing efficient and sustainable agricultural material dryers.

Keywords: Drying, Heat Transfer, Conduction, Convection, Iot, Energy Efficiency.

PENDAHULUAN

Proses pengeringan memiliki peran krusial dalam penanganan pascapanen produk pertanian, khususnya dalam menurunkan kadar air guna memperpanjang masa simpan dan menjaga mutu hasil panen (Soeswanto, B. et al., 2021). Namun demikian, teknik pengeringan konvensional yang masih banyak diterapkan oleh petani sangat tergantung pada intensitas cahaya matahari dan kondisi cuaca yang tidak menentu. Ketergantungan ini menjadikan proses pengeringan kurang efisien, memakan waktu yang lama, serta rentan terhadap pencemaran oleh debu dan mikroorganisme (Mahasanthi, N.K.M., 2022).

Perkembangan teknologi telah mendorong inovasi alat pengering yang lebih modern dengan memanfaatkan tenaga listrik, energi surya, sistem pendingin, hingga teknologi hibrida yang menggabungkan berbagai sumber energi. Seluruh sistem ini beroperasi berdasarkan prinsip dasar fisika perpindahan panas, yaitu konduksi, konveksi, dan radiasi, yang merupakan mekanisme utama dalam distribusi energi termal dari alat ke bahan yang dikeringkan (Dzaky, M.I. et al., 2022). Berbagai penelitian sebelumnya juga mengindikasikan bahwa efektivitas proses pengeringan sangat ditentukan oleh kestabilan suhu, kecepatan perpindahan panas, serta kemampuan pengaturan kelembapan. Teknologi seperti sistem pengontrol suhu otomatis berbasis Internet of Things (IoT), pengendali PID (Proportional-Integral-Derivative), serta penggunaan reflektor dan penyimpan panas telah terbukti mampu meningkatkan efisiensi energi dan menjaga suhu tetap stabil selama proses pengeringan berlangsung (Pohan, R.T.A. et al., 2023).

Kajian dari sejumlah jurnal ilmiah memperkuat pentingnya pemahaman tentang konsep dasar perpindahan kalor dalam perancangan dan penerapan teknologi pengeringan. Menurut Tika (2023), pengeringan hasil pertanian berperan penting dalam mencegah kontaminasi mikroba dan serangan hama, sehingga tidak hanya memperpanjang umur simpan, tetapi juga menjaga keamanan pangan. Ifah et al. (2024) juga menekankan bahwa kehadiran mesin pengering modern mampu menjawab tantangan perubahan cuaca dengan meningkatkan kualitas dan efisiensi proses pengeringan. Sementara itu, hasil penelitian Sadar (2020) menunjukkan bahwa variasi desain pipa dalam sistem pemanas termasuk bentuk dan diameter dapat memberikan perbedaan signifikan terhadap kinerja perpindahan panas.

Latar belakang tersebut menjadi pemahaman yang komprehensif mengenai prinsip-prinsip perpindahan kalor dan penerapannya dalam sistem pengeringan menjadi sangat penting. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis berbagai pendekatan dan temuan dari sejumlah studi ilmiah yang berkaitan dengan teknologi pengeringan berbasis prinsip fisika, serta memberikan rekomendasi untuk pengembangan sistem pengering yang lebih efisien, adaptif, dan berkualitas tinggi dalam bidang pertanian.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode deskriptif kualitatif dengan pendekatan kajian literatur atau analisis terhadap jurnal ilmiah. Fokus utama metode ini adalah mengkaji dan mengevaluasi sejumlah artikel penelitian yang relevan dengan topik perpindahan kalor dalam sistem pengeringan hasil pertanian. Data yang digunakan bersifat sekunder, diperoleh dari 30 jurnal ilmiah yang dipilih secara selektif berdasarkan kesesuaian topik dengan tema penelitian, serta rentang tahun publikasi antara 2020 hingga 2025. Tahapan awal penelitian meliputi proses pengumpulan data literatur, yaitu dengan mengidentifikasi dan mengakses jurnal yang membahas mekanisme perpindahan kalor, termasuk konduksi, konveksi, dan radiasi dalam teknologi pengeringan. Setiap artikel dianalisis secara mendalam, terutama pada bagian metode, hasil, dan kesimpulan, untuk memperoleh informasi teknis serta prinsip-prinsip fisika yang diterapkan. Analisis data dilakukan dengan pendekatan tematik, di mana jurnal-jurnal yang telah dikaji dikelompokkan berdasarkan parameter tertentu seperti jenis alat pengering (contohnya heat exchanger, drum dryer, dan pengering surya), sumber energi

yang digunakan (listrik, gas, surya, biomassa), serta faktor teknis seperti laju aliran, suhu operasional, efisiensi energi, dan kualitas produk hasil pengeringan.

Hasil analisis kemudian disintesis untuk menarik kesimpulan mengenai tren penerapan konsep perpindahan kalor dalam pengembangan teknologi pengeringan modern. Dengan pendekatan ini, penelitian bertujuan untuk memberikan gambaran komprehensif mengenai efektivitas berbagai teknologi pengeringan berbasis prinsip dasar fisika, serta menjadi rujukan dalam pengembangan inovasi alat pengering yang lebih efisien dan adaptif terhadap kebutuhan sektor pertanian masa kini.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengeringan hasil pertanian merupakan proses penting dalam penanganan pascapanen untuk mengurangi kadar air bahan, memperpanjang masa simpan, serta menjaga kualitas produk. Secara fisika, pengeringan melibatkan mekanisme perpindahan kalor (konduksi, konveksi, dan radiasi) serta perpindahan massa (difusi dan evaporasi air). Dari analisis literatur, ditemukan bahwa perpindahan kalor secara konduksi terjadi melalui kontak langsung antara bahan dan permukaan panas, seperti pada tray dryer, di mana penggunaan kendali PID (Proportional-Integral-Derivative) mampu menjaga suhu stabil di kisaran optimal (50–60°C) dan mempercepat pengeringan. Pada mekanisme konveksi, aliran udara panas membawa uap air dari bahan ke lingkungan, dengan peningkatan kecepatan udara dan penggunaan silica gel yang terbukti mempercepat proses pengeringan. Sedangkan perpindahan kalor secara radiasi terutama dimanfaatkan dalam solar dryer, di mana reflektor cahaya mampu meningkatkan suhu ruang pengering secara signifikan. Proses perpindahan massa melalui difusi air dari dalam bahan ke permukaan juga dipercepat dengan suhu pengeringan yang optimal. Sistem refrigerasi tertutup menawarkan efisiensi tinggi untuk pengeringan bahan sensitif panas. Pengembangan berbagai alat pengering seperti solar tunnel dryer, tray dryer elektrik, refrigerated dryer, hybrid dryer, dan roto-aerated dryer mengombinasikan berbagai mekanisme perpindahan kalor untuk menghasilkan pengeringan yang efisien dan berkualitas. Secara keseluruhan, integrasi sistem kendali otomatis berbasis PID (Proportional-Integral-Derivative) dan IoT (Internet of Things) terbukti efektif dalam meningkatkan efisiensi energi, mempercepat pengeringan, serta mempertahankan mutu produk.

Tabel 1. Pengembangan alat pengering

No	Alat Pengering	Mekanisme Perpindahan Kalor	Keterangan
1.	Solar Tunnel Dryer	Radiasi (utama), konveksi alami, sedikit konduksi	Meningkatkan suhu ruang dengan cahaya matahari. Reflektor meningkatkan efisiensi.
2.	Tray Dryer Elektrik	Konduksi (utama), konveksi paksa, radiasi minor	Menggunakan pemanas listrik dan blower. Sistem PID (Proportional-Integral-Derivative) menjaga suhu stabil.
3.	Refrigerated Dryer	Konveksi paksa, kondensasi, sedikit konduksi	Cocok untuk bahan sensitif panas. Udara kering berputar dalam ruang tertutup.
4.	Hybrid Dryer	Radiasi + konveksi (gabungan dari listrik, surya, atau biomassa)	Memungkinkan operasi saat matahari redup. Dilengkapi sistem kontrol otomatis.
5.	Roto-Aerated Dryer	Konveksi paksa dengan sirkulasi udara + agitasi mekanik	Bahan dikeringkan sambil diputar, hasil lebih merata dan cepat. Cocok untuk biji-bijian.

Hasil analisis literatur menunjukkan bahwa proses pengeringan hasil pertanian merupakan kombinasi kompleks antara perpindahan kalor dan perpindahan massa yang harus dikelola secara optimal untuk menghasilkan produk berkualitas tinggi dengan efisiensi energi yang baik. Pada aspek perpindahan kalor secara konduksi, penggunaan elemen pemanas berbahan logam, seperti pada tray dryer elektrik, memungkinkan perpindahan panas langsung dari permukaan panas ke bahan pertanian. Penerapan sistem kendali suhu PID (Proportional-Integral-Derivative), sebagaimana ditunjukkan oleh penelitian Kurniawan et al. (2023), terbukti mempercepat pencapaian suhu steady-state dan mempertahankan kestabilan suhu selama proses pengeringan, yang berimplikasi pada peningkatan kualitas hasil dan penghematan energi. Hal ini menunjukkan pentingnya kontrol presisi dalam teknologi pengeringan berbasis konduksi.

Proses pengeringan hasil pertanian sangat bergantung pada mekanisme perpindahan kalor, yaitu konduksi, konveksi, dan radiasi, yang masing-masing diterapkan secara spesifik pada berbagai jenis alat pengering. Pada tray dryer elektrik, perpindahan kalor secara konduksi menjadi dominan, di mana panas dari elemen pemanas berpindah melalui permukaan logam secara langsung ke bahan yang dikeringkan. Kontak langsung ini memungkinkan panas mengalir secara efisien ke dalam bahan, sementara sistem kendali suhu berbasis PID (Proportional-Integral-Derivative) memastikan suhu stabil agar proses pengeringan berlangsung cepat dan kualitas bahan tetap terjaga. Sementara itu, pada roto-aerated dryer, konveksi paksa menjadi mekanisme utama, di mana udara panas disirkulasikan secara aktif di sekitar bahan yang diputar oleh sistem mekanik. Proses ini memperbesar area permukaan bahan yang terkena aliran panas dan mempercepat evaporasi air. Solar tunnel dryer menerapkan radiasi sebagai mekanisme dominan, memanfaatkan sinar matahari langsung yang menembus plastik transparan dan diserap oleh bahan serta permukaan pengering. Penambahan reflektor cermin mampu meningkatkan efisiensi penyerapan radiasi, sementara konveksi alami membantu mengalirkan uap air keluar dari ruang pengering. Pada refrigerated dryer, meskipun suhu yang digunakan lebih rendah, perpindahan kalor secara konveksi paksa tetap berlangsung secara efektif, terutama dalam sistem sirkulasi udara tertutup yang cocok untuk bahan sensitif panas. Adapun hybrid dryer menggabungkan ketiga mekanisme perpindahan kalor sekaligus konduksi dari elemen pemanas listrik, konveksi dari aliran udara panas, dan radiasi dari energi surya menjadikannya sistem yang fleksibel dan efisien untuk berbagai kondisi cuaca dan kebutuhan pengeringan.

Pada mekanisme konveksi, baik konveksi alami maupun paksa menjadi dominan dalam sistem pengeringan berbasis udara. Penelitian oleh Imanda dan Meutia (2024) membuktikan bahwa peningkatan kecepatan aliran udara dan penggunaan material penyerap kelembaban seperti silica gel secara signifikan mempercepat laju evaporasi air dari bahan, menurunkan kadar air dengan lebih efisien. Ini memperkuat pemahaman bahwa koefisien perpindahan panas konveksi dan pengelolaan kelembaban udara merupakan faktor krusial dalam meningkatkan performa sistem pengeringan berbasis udara panas. Perpindahan kalor secara radiasi juga memainkan peran penting dalam sistem pengeringan berbasis energi surya. Penggunaan reflektor cermin seperti yang dikembangkan oleh Pranata et al. (2023) terbukti meningkatkan intensitas radiasi yang diterima bahan, mempercepat proses pemanasan, dan mendukung evaporasi air. Strategi ini menjadi sangat relevan untuk daerah dengan potensi sinar matahari tinggi, serta untuk mengurangi ketergantungan terhadap sumber energi listrik atau bahan bakar fosil.

Sementara itu, perpindahan massa dalam proses pengeringan, terutama melalui difusi dan evaporasi, menjadi mekanisme utama dalam menghilangkan air dari bahan. Studi kinetika pengeringan biji kopi oleh Kumar et al. (2023) mengindikasikan bahwa difusivitas efektif meningkat dengan suhu, sedangkan energi aktivasi berkurang, mempercepat proses penguapan. Ini menunjukkan bahwa pengaturan suhu yang tepat tidak hanya mempercepat

pengeringan tetapi juga menurunkan kebutuhan energi secara keseluruhan. Sistem pengering berbasis refrigerasi seperti yang diteliti oleh Dzaky et al. (2022) menawarkan solusi untuk bahan-bahan sensitif panas. Dengan siklus udara tertutup dan kontrol kelembaban yang ketat, sistem ini mampu mempertahankan suhu rendah sambil tetap efektif dalam mengurangi kadar air bahan, sehingga menjaga kualitas nutrisi dan sensori produk.

Berkaitan dengan efisiensi energi dan mutu produk, temuan dari Soeswanto et al. (2021) dan Paulo et al. (2024) memperlihatkan bahwa pengendalian suhu dalam rentang optimal (sekitar 50–60°C) serta sirkulasi udara yang seragam menghasilkan waktu pengeringan lebih cepat tanpa menurunkan kualitas produk. Teknologi seperti roto-aerated dryer yang menggabungkan sirkulasi udara aktif dan agitasi mekanik juga terbukti meningkatkan homogenitas pengeringan dan menghindari masalah over-drying. Integrasi sistem kendali otomatis berbasis PID (Proportional-Integral-Derivative) dan monitoring IoT menjadi inovasi kunci dalam modernisasi sistem pengeringan. Selain mempercepat waktu pencapaian suhu kerja, sistem ini memungkinkan pengontrolan proses secara real-time, mengoptimalkan penggunaan energi, serta memungkinkan adaptasi terhadap kondisi bahan dan lingkungan yang dinamis. Penelitian menunjukkan bahwa penggunaan sistem otomatis ini mampu meningkatkan efisiensi pengeringan hingga lebih dari 20% dibandingkan metode konvensional. Sehingga pengembangan alat pengering masa depan sebaiknya diarahkan pada penggunaan sumber energi terbarukan seperti surya dan biomassa, penerapan kontrol otomatis berbasis kecerdasan buatan, serta desain alat yang ergonomis dan hemat energi. Perpaduan antara prinsip-prinsip fisika perpindahan kalor dan massa dengan teknologi modern menjadi kunci untuk memenuhi kebutuhan industri pertanian masa kini yang menuntut efisiensi tinggi, biaya rendah, serta hasil produk berkualitas unggul

KESIMPULAN

Pengeringan hasil pertanian merupakan tahap penting dalam pascapanen untuk menurunkan kadar air, meningkatkan daya simpan, dan menjaga kualitas produk. Proses ini melibatkan perpindahan kalor konduksi, konveksi, dan radiasi serta perpindahan massa berupa evaporasi dan difusi uap air. Konduksi terjadi saat bahan bersentuhan langsung dengan permukaan pemanas, seperti pada tray dryer elektrik. Konveksi digunakan dalam sistem berbasis udara, dengan konveksi paksa (blower) lebih efektif dibanding alami. Radiasi dimanfaatkan pada solar dryer, terutama dengan bantuan reflektor untuk meningkatkan penyerapan panas. Setiap alat pengering seperti solar tunnel dryer, refrigerated dryer, hybrid dryer, dan roto-aerated dryer menerapkan kombinasi mekanisme kalor yang berbeda sesuai kebutuhan bahan. Penggunaan sistem kendali otomatis berbasis PID (Proportional-Integral-Derivative) dan IoT (Internet of Things) terbukti meningkatkan efisiensi energi dan menjaga kualitas hasil. Ke depan, pengembangan teknologi pengering sebaiknya mengutamakan kontrol adaptif berbasis AI serta pemanfaatan energi terbarukan. Desain alat yang ergonomis dan hemat energi sangat dibutuhkan untuk menjawab tantangan industri pertanian modern.

DAFTAR PUSTAKA

- Alit, I. B., & Susana, I. G. B. 2020. Pengaruh Kecepatan Udara pada Alat Pengering Jagung dengan Mekanisme Penukar Kalor. *Jurnal Rekayasa Mesin*, 11(1): 77–84. <https://doi.org/10.21776/ub.jrm.2020.011.01.9>
- Anggraeni, S. N. H., Dewi, N. N., Martatino, R. N., Sudarti, S., Mahmudi, K. N., & Marbun, F. K. 2024. Analisis Konduktivitas Termal Mesin Solar Drum Dryer Sebagai Mesin Pengering Pada Biji Jagung. *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, 12(1): 63–68. <https://doi.org/10.33558/jitm.v12i1.7967>
- Araujo M. E.V. D., Corrêa P., Barbosa E. G., dan Martins M. A. 2021. Determination and Modeling of Physical and Aerodynamic Properties of Coffee Beans (*Coffea arabica*) During the Drying Process. *Journal of Food Processing and Preservation*, 45(9). doi: 10.1111/jfpp.15698

- Dzaky, M. I., Kosasih, E. A., Fauzi, M. B., Prabowo, A. T., & Zikri, A. (2022). Activation energy analysis of coffee beans drying using double condenser refrigeration system. *Journal of Physics: Conference Series*, 2377(1), 012058. IOP Publishing. Doi: 10.1088/1742-6596/2377/1/012058
- Fathoni, F., & Suherman, R. 2022. Variasi Laju Aliran Air Panas Terhadap Efisiensi dan Efektivitas Kalor pada Shell and Tube Heat Exchanger. *Jurnal Inovator*, 6(2): 81–90. <https://doi.org/10.37338/inovator.v6i2.252>
- Firman, L. O. M., & Suyitno, B. 2022. Analisis Energi Panas pada Alat Pengering Kacang Mete. *Teknobiz: Jurnal Ilmiah Program Studi Magister Teknik Mesin*, 12(1): 1–7. <https://doi.org/10.35814/teknobiz.v12i1.3310>
- Fongang Y., Tchinda H., dan Kaptouom R. 2023. Experimental performance analysis of a mixed forced convection solar dryer with thermal storage for cocoa beans drying. *Solar Energy*. 259, 112186. doi: 10.1016/j.solener.2023.112186
- Gunawan Y., Margono K. T., Rizky R., Putra N., Faqih R. A., Hakim I. I., Setiadanu G. T., Suntoro D., Kasbi S., dan Nafis S. 2021. Enhancing the Performance of Conventional Coffee Beans Drying with Low- Temperature Geothermal Energy by Applying HPHE: An Experimental Study. *Open Agriculture*. 6(1): 807–818. doi:10.1515/opag-2021- 0053
- Gunawan Y., Margono K. T., Rizky R., Putra N., Faqih R. A., Hakim I. I., Setiadanu G. T., Suntoro D., Kasbi S., dan Nafis S. 2022. Performance evaluation of a hybrid solar-geothermal dryer integrated with a heat pipe heat exchanger for coffee beans drying. *Renewable Energy*. 189: 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2022.02.154>
- Ifah, K. N., Wulansari, E. T., Sudarti, S., 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>
- Imanda, N., & Meutia, S. (2024). Analisis Pengeringan Biji Kopi Dengan Pengaruh Kecepatan Udara Menggunakan Solar Dryer Berbasis IoT. *Jurnal Sains Dan Teknologi 4.0*, 1(2), 8–10. <https://jurnal.komputasi.org/index.php/jst/article/view/21>
- Intang, A., & Darmansyah, D. 2020. Analisa Termodinamika Laju Perpindahan Panas dan Pengeringan pada Mesin Pengering Berbahan Bakar Gas dengan Variabel Temperatur Lingkungan. *FLYWHEEL: Jurnal Teknik Mesin Untirta*, 1(1). <https://doi.org/10.36055/fwl.v1i1.3324>
- Kumar, S. N., Rajabathar, J. R., & Karnan, M. (2023). Estimation of effective diffusivity, thermodynamic parameter and drying kinetics exploration in coffee berries drying. *Reaction Kinetics, Mechanisms and Catalysis*, 136, 1371–1384. <https://doi.org/10.1007/s11144-023-02412-0>
- Kurniawan, A., Pohan, R. A. T., & Agustian, I. (2023). Sistem Kendali Suhu Prototipe Mesin Pengering Biji Kopi Dengan Metode PID dan IOT Monitoring. *Jurnal Amplifier*, 13(1), 10–17. <https://doi.org/10.33369/jamplifier.v13i1.27437>
- Madjid, A. A., & Wahyudi, M. I. 2022. Transfer Kalor Konduksi pada Pelat Aluminium 2 Dimensi dengan Menggunakan Metode FTCS. *Jurnal OPTIKA*, 8(2): 132–140. <https://doi.org/10.37478/optika.v8i2.4871>
- Mahartika, D., Damayanti, Z., Pramudita, A. D., Adilah, B., Rahmawati, E. D., Mahmud, K., & Prihandono, T. 2023. Analisa Konsep Kalor Pada Proses Pengeringan Terhadap Kualitas Tembakau. *Jurnal Mekanova: Mekanikal, Inovasi dan Teknologi*. <https://jurnal.utu.ac.id/jmekanova/article/view/8765/0>
- Mahasanthi, N. K. M. 2022. KAJIAN ETNOSAINS PADA PRODUKSI KOPI ROBUSTA DI DESA SEPANG KELOD SEBAGAI BAHAN PEMBELAJARAN IPA SMP (Doctoral dissertation, Universitas Pendidikan Ganesha). <http://repo.undiksha.ac.id/id/eprint/12143>
- Nurkholis, M. F., & Prasetyo, A. D. 2023. Studi Komparatif Efektivitas Kalor dengan Variasi Laju Aliran Pendingin pada Heat Exchanger Tipe Plate Aliran Searah. *Jurnal Pertanian Terapan*, 7(1): 20–29. <https://doi.org/10.31004/jptam.v7i1.5746>
- Nursafin, M., Sudharto dan Kestiawan, I. M. 2022. Rancang Bangun Mesin Pengering Untuk Hasil Pertanian (Studi Kasus Pada Umbi Gadung). In *Senakama: Prosiding Seminar Nasional Karya Ilmiah Mahasiswa*, 1(1), 319–332. <https://conference.untag-sby.ac.id/index.php/sentek/article/view/1170>
- Odonkor M. T., Mensah A. K., dan Forkuo E. K. 2022. Performance evaluation of a hybrid solar

- biomass dryer integrated with thermal energy storage for drying coffee beans. *Renewable Energy*. 185:11-13. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2021.12.090>
- Paulo, S. D. A., Duarte, C. R., & Barrozo, M. A. S. (2024). An Innovative Dryer for Arabica Coffee (*Coffea arabica* L.) Drying: Investigating Heat and Mass Transfer. *Drying Technology*, 42(6), 1065–1076. doi:10.1080/07373937.2024.2341399.
- 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. <http://dx.doi.org/10.30811/jmst.v7i2.4479>
- Purwanto, A., & Darmawan, H. 2023. Efek Laju Alir dan Arah Aliran terhadap Performa Alat Penukar Panas Tipe Shell and Tube Heat Exchanger Menggunakan SCADA. *Jurnal Rekayasa Proses*, 17(1): 40–50. <https://doi.org/10.22146/jrekpros.77376>
- Putri, I. M. A., Elizah, N., Putri, S. S., Sudarti, S., & Mahmudi, K. 2025. Analisis Konsep Kalor pada Proses Pengeringan Gabah Menjadi Beras. *Jurnal Agro Indragiri*, 10(1). <https://doi.org/10.32520/jai.v10i1.3249>
- 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>
- Sadar, H. S. 2020. Analisa Perpindahan Panas pada Pemanas Air Tenaga Surya dengan Variasi Diameter Pipa Bentuk Sinusoidal. *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin, Universitas Sains dan Teknologi Jayapura*. <https://ojs.ustj.ac.id/mesin/article/view/767>
- Soeswanto, B., Wahyuni, N. L. E., & Prihandini, G. (2021). The development of coffee bean drying process technology—a review. 2nd International Seminar of Science and Applied Technology (ISSAT 2021), 164–170. <https://doi.org/10.2991/aer.k.211106.026>
- Tika, Y. Y. 2023. Mekanisme Beberapa Mesin Pengering Pertanian. *Jurnal Penelitian Fisika dan Terapannya (JUPITER)*, 4(1). <https://doi.org/10.31851/jupiter.v4i1.7975>