

ANALISIS KONSEP FISIKA PADA TEKNOLOGI FERMENTASI BIJI KOPI (UNTUK MEMBUAT KOPI LUWAK DAN WHITE COFFEE)

Elisa Rachma Alia¹, Mustika Ayu Seftiani², Sudarti³

230210102043@mail.unej.ac.id¹, 230210102073@mail.unej.ac.id², sudartifkip@unej.ac.id³

Universitas Jember

ABSTRAK

Proses fermentasi, salah satu tahapan penting dalam proses pascapanen kopi, sangat memengaruhi kualitas rasa dan nilai jual produk. Studi menunjukkan bahwa perubahan pada proses fermentasi dapat meningkatkan kualitas kopi, tingkat efisiensi produksi, dan keberlanjutan bisnis petani. Tujuan dari studi ini adalah untuk membandingkan berbagai metode teknologi dan bioteknologi dalam proses fermentasi biji kopi dan bagaimana hal ini berdampak pada kualitas kopi. Penelitian deskriptif digunakan dalam artikel ini. Ini adalah artikel review yang meninjau 22 artikel nasional. Hasil menunjukkan bahwa penggunaan kultur bakteri *Lactobacillus plantarum*, *Saccharomyces cerevisiae*, dan bakteri asam laktat lokal dapat mempercepat fermentasi dan meningkatkan cita rasa kopi. Penambahan madu sebagai sumber karbon dan paparan medan magnet ELF juga meningkatkan aktivitas mikroba. Sebaliknya, Anda dapat meningkatkan efisiensi proses dengan memasukkan teknologi digital ke dalam alat fermentor dan pengering dengan sistem berbasis Arduino. Selain itu, diskusi membahas faktor sosial-budaya yang memengaruhi adopsi teknologi oleh petani dan betapa pentingnya pendekatan partisipatif untuk melakukannya. Strategi ini sangat relevan untuk membangun pertanian kopi modern, efektif, dan berkelanjutan di Indonesia. Ini terbukti meningkatkan kualitas, konsistensi rasa, dan nilai tambah kopi dengan memanfaatkan inovasi fermentasi berbasis teknologi dan mikrobiologi, didukung oleh edukasi dan penguatan kapasitas petani.

Kata Kunci: Fermentasi Kopi, Inovasi Teknologi, Kualitas Kopi.

ABSTRACT

*The fermentation process, one of the important stages in the post-harvest process of coffee, greatly affects the quality of taste and the selling value of the product. Studies show that changes in the fermentation process can improve coffee quality, production efficiency levels, and the sustainability of farmer businesses. The purpose of this study is to compare various technological and biotechnological methods in the coffee bean fermentation process and how this impacts coffee quality. Descriptive research is used in this article. This is a review article that reviews 22 national articles. The results show that the use of bacterial cultures *Lactobacillus plantarum*, *Saccharomyces cerevisiae*, and local lactic acid bacteria can accelerate fermentation and improve coffee flavor. The addition of honey as a carbon source and exposure to ELF magnetic fields also increase microbial activity. Conversely, you can improve process efficiency by incorporating digital technology into fermenters and dryers with Arduino-based systems. In addition, the discussion discusses socio-cultural factors that influence technology adoption by farmers and how important a participatory approach is to do so. This strategy is very relevant to building modern, effective, and sustainable coffee farming in Indonesia. This has been proven to improve the quality, consistency of taste, and added value of coffee by utilizing technology and microbiology-based fermentation innovations, supported by education and strengthening the capacity of farmers.*

Keywords: Coffee Fermentation, Technology Innovation, Coffee Quality.

PENDAHULUAN

Aplikasi bakteri asam laktat sebagai starter dalam fermentasi kopi Arabika merupakan contoh nyata dari keberhasilan penerapan teknologi. Suwasono dan rekan-rekannya (2023) mengungkapkan bahwa penggunaan starter ini dapat mempercepat proses penurunan pH sekaligus meningkatkan jumlah total asam, yang berperan dalam menghasilkan rasa kopi

yang lebih baik. Dengan memanfaatkan teknologi ini, fermentasi menjadi lebih terorganisir dan mampu menghasilkan kopi dengan profil rasa yang lebih bersih dan aroma yang lebih kaya. Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan teknologi mikrobiologi dalam proses fermentasi bisa memberikan pengaruh yang signifikan terhadap kualitas produk akhir.

Pendekatan fermentasi anaerob yang diterapkan di Desa Orogading, seperti yang diungkapkan oleh Iswanto dan koleganya (2024), menunjukkan hasil yang menarik. Teknologi ini memberikan kesempatan bagi petani untuk menyimpan biji kopi dalam tempat tertutup tanpa oksigen, yang dapat meningkatkan konsistensi dalam rasa kopi. Uji cita rasa mengindikasikan bahwa kopi hasil fermentasi anaerob memiliki karakter rasa yang lebih stabil dan lebih disukai oleh konsumen. Metode ini tidak hanya mudah dan sederhana untuk diimplementasikan, tetapi juga menawarkan solusi praktis guna meningkatkan daya saing kopi lokal di pasar.

Penerapan madu sebagai sumber karbon dalam fermentasi alami biji kopi Arabika, yang diteliti oleh Sasmita dan timnya (2023), juga memperlihatkan bagaimana teknologi dapat meningkatkan kualitas produk. Penelitian menunjukkan bahwa madu dapat meningkatkan aktivitas mikroorganisme, yang berkontribusi pada pengurangan pH yang lebih cepat dan peningkatan suhu fermentasi. Kopi yang difermentasi dengan penambahan madu menunjukkan kualitas fisik dan cita rasa yang lebih baik, serta aroma yang lebih kompleks. Ini menunjukkan bahwa pemilihan bahan tambahan dalam fermentasi berdampak pada kualitas akhir produk, dan teknologi ini bisa diadopsi oleh petani untuk meningkatkan hasil panen mereka.

METODOLOGI

Metode yang digunakan dalam artikel ini adalah metode penelitian deskriptif research. Metode deskriptif research yang digunakan merupakan artikel review dengan mereview 22 artikel nasional. Sumber literatur yang digunakan antara lain Google Scholar yang telah terindeks oleh SINTA yang kemudian di analisis hingga terbentuklah jurnal ini. Kata kunci atau istilah pencarian yang digunakan adalah teknologi pengeringan berbasis agrofisika dalam agroindustri kakao.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil studi mengenai teknologi fermentasi pada biji kopi mengungkapkan bahwa penerapan prinsip-prinsip fisika dalam proses ini memiliki dampak yang signifikan terhadap mutu produk akhir, baik untuk kopi luwak maupun white coffee. Beragam teknologi yang digunakan selama fermentasi biji kopi tidak hanya meningkatkan efisiensi proses, tetapi juga memperbaiki rasa dan aroma dari produk yang dihasilkan.



Arduino-Based Magnetic Fermentation Machine

Sumber: Sudarti et al., 2022

Salah satu terobosan teknologi yang penting adalah penciptaan alat fermentor yang berbasis Arduino Uno, seperti yang dilaporkan oleh Fasya dan rekan-rekannya (2022). Perangkat ini dirancang untuk secara otomatis mengatur suhu dan kelembaban, yang merupakan aspek penting dalam tahap fermentasi. Dengan memanfaatkan sensor suhu dan

kelembaban yang memiliki tingkat akurasi tinggi, alat ini dapat menjaga kondisi yang ideal selama proses fermentasi. Pengujian menunjukkan bahwa kontrol otomatis ini mampu meningkatkan konsistensi dan kualitas hasil fermentasi biji kopi, yang sangat krusial dalam pembuatan kopi luwak dan white coffee premium. Implementasi teknologi ini membantu petani mengurangi ketidakpastian hasil dan meningkatkan daya saing produk mereka di pasaran.



Arduino-Based Magnetic Fermentation Machine

Sumber: Sudarti et al., 2022

Teknologi menarik lainnya adalah penerapan medan magnet Extremely Low Frequency (ELF) dalam prosedur fermentasi, yang diteliti oleh Purbawati dan koleganya (2021). Penelitian ini mengungkap bahwa paparan terhadap medan magnet ELF dapat mempercepat perubahan pH selama fermentasi biji kopi lanang. Dengan memanfaatkan medan magnet, proses fermentasi dapat dioptimalkan, yang pada gilirannya meningkatkan aktivitas mikroba yang terlibat dalam fermentasi. Hal ini menunjukkan kemungkinan penggunaan teknologi fisika untuk meningkatkan efisiensi dan efektivitas dalam proses fermentasi, yang dapat diterapkan di sektor kopi untuk memproduksi barang berkualitas tinggi.



Current Transformer

Sumber: Kanza et al., 2020

Paparan medan magnet Extremely Low Frequency (ELF) terbukti berpengaruh positif terhadap kualitas fermentasi produk pangan. Menurut Faridawati et al. (2023), medan magnet ELF dengan frekuensi 0-300 Hz dapat meningkatkan efisiensi fermentasi dengan mengubah pH dan aktivitas mikroorganisme. Misalnya, paparan medan magnet ELF dengan intensitas 300 μT selama 24 jam pada fermentasi tape ketan meningkatkan nilai pH, menunjukkan proses fermentasi yang lebih baik. Sebaliknya, paparan medan magnet ELF dengan intensitas 400 μT selama 30 menit pada fermentasi kopi liberika meningkatkan pH secara signifikan, yang terkait dengan peningkatan aktivitas enzim α -amilase. Hasilnya menunjukkan bahwa medan magnet ELF dapat digunakan sebagai teknik non-termal untuk meningkatkan kualitas dan efisiensi proses fermentasi dalam industri pangan.

Studi yang dilakukan oleh Yulandari, Sudarti, dan Yushardi (2024) menemukan bahwa paparan medan magnet Extremely Low Frequency (ELF) dengan intensitas tertentu

dapat mendorong perkembangan bakteri yang bertanggung jawab atas proses fermentasi makanan. Hasil ini relevan untuk pengembangan kopi putih luwak, yang bergantung pada fermentasi alami dalam saluran pencernaan luwak untuk menghasilkan rasa unik. Dengan menggunakan mikroba probiotik yang dipisahkan dari sistem pencernaan luwak untuk fermentasi biji kopi, dapat meniru proses fermentasi alami ini tanpa melibatkan hewan. Metode ini tidak hanya mendukung produksi kopi luwak yang lebih etis dan berkelanjutan, tetapi juga memungkinkan kontrol yang lebih baik terhadap kualitas dan konsistensi produk akhir. Oleh karena itu, penggabungan teknologi medan magnet ELF ke dalam proses fermentasi kopi dapat menjadi inovasi besar dalam industri kopi khusus, terutama untuk varian kopi putih yang menonjolkan profil rasa yang halus dan kompleks.

Aplikasi bakteri asam laktat sebagai starter dalam fermentasi kopi Arabika merupakan contoh nyata dari keberhasilan penerapan teknologi. Suwasono dan rekan-rekannya (2023) mengungkapkan bahwa penggunaan starter ini dapat mempercepat proses penurunan pH sekaligus meningkatkan jumlah total asam, yang berperan dalam menghasilkan rasa kopi yang lebih baik. Dengan memanfaatkan teknologi ini, fermentasi menjadi lebih terorganisir dan mampu menghasilkan kopi dengan profil rasa yang lebih bersih dan aroma yang lebih kaya. Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan teknologi mikrobiologi dalam proses fermentasi bisa memberikan pengaruh yang signifikan terhadap kualitas produk akhir.

Pendekatan fermentasi anaerob yang diterapkan di Desa Orogading, seperti yang diungkapkan oleh Iswanto dan koleganya (2024), menunjukkan hasil yang menarik. Teknologi ini memberikan kesempatan bagi petani untuk menyimpan biji kopi dalam tempat tertutup tanpa oksigen, yang dapat meningkatkan konsistensi dalam rasa kopi. Uji cita rasa mengindikasikan bahwa kopi hasil fermentasi anaerob memiliki karakter rasa yang lebih stabil dan lebih disukai oleh konsumen. Metode ini tidak hanya mudah dan sederhana untuk diimplementasikan, tetapi juga menawarkan solusi praktis guna meningkatkan daya saing kopi lokal di pasar.

Penerapan madu sebagai sumber karbon dalam fermentasi alami biji kopi Arabika, yang diteliti oleh Sasmita dan timnya (2023), juga memperlihatkan bagaimana teknologi dapat meningkatkan kualitas produk. Penelitian menunjukkan bahwa madu dapat meningkatkan aktivitas mikroorganisme, yang berkontribusi pada pengurangan pH yang lebih cepat dan peningkatan suhu fermentasi. Kopi yang difermentasi dengan penambahan madu menunjukkan kualitas fisik dan cita rasa yang lebih baik, serta aroma yang lebih kompleks. Ini menunjukkan bahwa pemilihan bahan tambahan dalam fermentasi berdampak pada kualitas akhir produk, dan teknologi ini bisa diadopsi oleh petani untuk meningkatkan hasil panen mereka.

Aplikasi bakteri asam laktat sebagai starter dalam fermentasi kopi Arabika merupakan contoh nyata dari keberhasilan penerapan teknologi. Suwasono dan rekan-rekannya (2023) mengungkapkan bahwa penggunaan starter ini dapat mempercepat proses penurunan pH sekaligus meningkatkan jumlah total asam, yang berperan dalam menghasilkan rasa kopi yang lebih baik. Dengan memanfaatkan teknologi ini, fermentasi menjadi lebih terorganisir dan mampu menghasilkan kopi dengan profil rasa yang lebih bersih dan aroma yang lebih kaya. Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan teknologi mikrobiologi dalam proses fermentasi bisa memberikan pengaruh yang signifikan terhadap kualitas produk akhir.

Pendekatan fermentasi anaerob yang diterapkan di Desa Orogading, seperti yang diungkapkan oleh Iswanto dan koleganya (2024), menunjukkan hasil yang menarik. Teknologi ini memberikan kesempatan bagi petani untuk menyimpan biji kopi dalam tempat tertutup tanpa oksigen, yang dapat meningkatkan konsistensi dalam rasa kopi. Uji cita rasa mengindikasikan bahwa kopi hasil fermentasi anaerob memiliki karakter rasa yang lebih stabil dan lebih disukai oleh konsumen. Metode ini tidak hanya mudah dan sederhana untuk

diimplementasikan, tetapi juga menawarkan solusi praktis guna meningkatkan daya saing kopi lokal di pasar.

Penerapan madu sebagai sumber karbon dalam fermentasi alami biji kopi Arabika, yang diteliti oleh Sasmita dan timnya (2023), juga memperlihatkan bagaimana teknologi dapat meningkatkan kualitas produk. Penelitian menunjukkan bahwa madu dapat meningkatkan aktivitas mikroorganisme, yang berkontribusi pada pengurangan pH yang lebih cepat dan peningkatan suhu fermentasi. Kopi yang difermentasi dengan penambahan madu menunjukkan kualitas fisik dan cita rasa yang lebih baik, serta aroma yang lebih kompleks. Ini menunjukkan bahwa pemilihan bahan tambahan dalam fermentasi berdampak pada kualitas akhir produk, dan teknologi ini bisa diadopsi oleh petani untuk meningkatkan hasil panen mereka.

KESIMPULAN

Perkembangan teknologi pascapanen, terutama proses fermentasi, telah meningkatkan kualitas dan nilai tambah produk kopi. Berbagai metode, mulai dari penggunaan kultur mikroorganisme khusus seperti *Lactobacillus plantarum*, *Saccharomyces cerevisiae*, dan bakteri asam laktat asli hingga penggunaan teknologi digital berbasis Arduino, dapat meningkatkan efisiensi fermentasi, mempercepat penurunan pH, dan menghasilkan cita rasa kopi yang lebih kompleks dan konsisten.. Selain itu, telah terbukti bahwa penggunaan teknik fermentasi alternatif, seperti fermentasi anaerob dan penggunaan medan magnet ELF, berkontribusi pada peningkatan proses biokimia biji kopi. Penggunaan inokulum dari feses luwak yang telah dimodifikasi dan penambahan sumber karbon seperti madu menunjukkan peningkatan aktivitas mikroorganisme, yang mendukung proses fermentasi alami secara lebih efisien dan berkelanjutan. Sebaliknya, teknologi tepat guna seperti mesin pengering otomatis berbasis sistem dan solar dryer dome dengan pemanas tambahan telah mengatasi masalah pengeringan dan pengolahan pascapanen. Teknologi ini juga membantu menjaga kualitas produk kopi, terutama di lingkungan cuaca yang tidak menentu. Aspek budaya dan sosial petani juga memengaruhi adopsi teknologi, jadi pendekatan partisipatif dan humanistik sangat penting untuk menerapkan inovasi di lapangan. Secara keseluruhan, sistem pengolahan kopi yang lebih efisien, berkualitas, berkelanjutan, dan berdaya saing tinggi dapat dicapai melalui penggabungan teknologi, bioteknologi, dan pendekatan sosial.

DAFTAR PUSTAKA

- Anggreini, R. A., Wicaksono, L. A., Sari, T. P., Asi, S. A. S. L. C., & Mulyani, D. (2025). Product Diversification of Robusta Coffee Cascara at Gapoktan Karya Bakti: An Effort to Support Zero Waste. *JATI EMAS (Jurnal Aplikasi Teknik dan Pengabdian Masyarakat)*, 9(2), 251–254. <https://doi.org/10.12345/je.v9i2.143>
- Fasya, F., Prihandono, T., & Harijanto, A. (2022). Rancang Bangun Alat Fermentor Kopi Terkendali Menggunakan Elemen Pemanas Berbasis Arduino Uno. *ORBITA: Jurnal Pendidikan dan Ilmu Fisika*, 8(2), 307–312. <https://doi.org/10.31764/orbita.v8i2.11161>
- Faradilla, F., Ratna, R., & Darwin, D. (2022). Fermentasi Kopi Robusta Dengan Konsentrasi Pati Menggunakan Inokulum Feses Luwak. *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Pertanian*, 7(4), 923–927. <https://doi.org/10.17969/jfp.v13i1.22139>
- Hapirayani, H., Hartuti, S., & Darwin, D. (2022). Pengaruh Penambahan Pati Pada Inokulum Feses Luwak Terhadap pH Biji Kopi Arabika (*Coffea arabica* L) Selama Fermentasi. *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Pertanian*, 7(4), 817–821. <https://doi.org/10.17969/jimfp.v7i4.22140>
- Iswanto, I., Larekeng, S. H., Saidil, S., Rahayu, R., Budiman, Y. A., & Rayu, S. M. F. (2024). Fermentasi Anaerob untuk Mempertahankan Konsistensi Cita Rasa Kopi Desa Orogading Bulukumba. *ABDI UNISAP: Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat*, 2(2), 159–163. <https://doi.org/10.59632/abdiunisap.v2i2.296>
- Marcella, R., & Mulyanti, D. (2022). Aspek Bioteknologi dan Kehalalan Kopi Luwak serta Korelasi

- Manfaatnya untuk Kesehatan. *Jurnal Riset Farmasi*, 2(1), 69–76. <https://doi.org/10.29313/jrf.v2i1.849>
- Muzaifa, M., Abubakar, Y., Febriani, F., Abubakar, A., & Hasni, D. (2021). Mutu sensori kopi luwak asal dataran tinggi gayo. *Agrointek: Jurnal Teknologi Industri Pertanian*, 15(3), 808–815. <https://doi.org/10.21107/agrointek.v15i3.9604>
- MURAD, M., Sarjan, M., Anwar, H., & Sumarsono, J. (2025). Sudut Pandang Filsafat Ilmu Terhadap Perilaku Petani dalam Mengadopsi Teknologi Pasca Panen Kopi untuk Mendukung Pertanian Berkelanjutan. *Journal of Multidisciplinary Science and Natural Resource Management*, 1(1), 16–26. <https://jurnalpasca.unram.ac.id/index.php/jom/article/view/889>
- Pratiwi, P., Yanto, S., & Sukainah, A. (2023). Pengaruh lama fermentasi alami terhadap mutu kopi robusta asal Bantaeng. *Jurnal Pendidikan Teknologi Pertanian*, 9(2), 263–272. <https://doi.org/10.26858/jptp.v9i2.687>
- Purbawati, M., Sudarti, S., & AA, F. K. (2021). Pengaruh paparan medan magnet extremely low frequency (ELF) terhadap perubahan pH pada proses fermentasi biji kopi lanang (Peaberry) kering. *Jurnal Kumparan Fisika*, 4(2), 129–136. <https://doi.org/10.33369/jkf.4.2.129-136>
- Purkuncoro, A. E., Santoso, E. B., & Nurcahyo, E. (2024). Implementasi Teknologi Tepat Guna Mesin Pengering Biji Kopi Upaya Peningkatan Produk UMKM. *Jurnal Pengabdian Masyarakat: Pemberdayaan, Inovasi dan Perubahan*, 4(6). <https://doi.org/10.59818/jpm.v4i6.1034>
- Putri, R. P., Yudiastuti, S. O. N., Yossi, W., Hernowo, P., Handayani, W., Arumsari, A. G., & Halim, A. (2025). Inovasi Teknologi Pirolisis untuk Peningkatan Kesejahteraan Petani Kopi Hutan di Desa Kretek Bondowoso. *Jurnal Abdi Insani*, 12(1), 298–307. <https://doi.org/10.29303/abdiinsani.v12i1.2219>
- Ramdan, F. M., & Yun, Y. (2024). Pengaruh Kualitas Produk dan Citra Merek terhadap Loyalitas Pelanggan melalui Kepuasan Pelanggan pada Produk Kopi Siap Minum Luwak White Koffie di Kota Cimahi. *J-MAS (Jurnal Manajemen dan Sains)*, 9(2), 911–919. <http://dx.doi.org/10.33087/jmas.v9i2.1845>
- Refindo, M. W., Samsugi, S., & Styawati, S. (2023). Teknologi alat pengering biji kopi berbasis embedded system. *Jurnal Pepadun*, 4(3), 244–253. <https://doi.org/10.23960/pepadun.v4i3.179>
- Sasmita, Y., Sukainah, A., & Wijaya, M. (2023). Pengaruh penambahan madu sebagai sumber karbon terhadap fermentasi spontan biji kopi arabika di Kabupaten Bantaeng. *JURNAL PATANI: Pengembangan Teknologi Pertanian dan Informatika*, 6(1), 11–17. <https://doi.org/10.47767/patani.v6i1.456>
- Sugianto, S., & Ibrahim, A. M. M. (2025). Model Pemasaran dan Tingkat Efektivitas Pengolahan Industri Kopi KSU Buah Ketakasi: Studi Kasus di Desa Sidomulyo Kabupaten Jember. *Abdurrauf Science and Society*, 1(2), 1–13. <https://doi.org/10.70742/asoc.v2i1.100>
- Sukmawati, S., Patang, P., & Sukainah, A. (2024). Pemanfaatan Bakteri Asam Laktat Indigenous Kopi Robusta sebagai Starter pada Fermentasi Kopi Arabika Asal Toraja. *Jurnal Pendidikan Teknologi Pertanian*, 10(1), 11–18. <https://doi.org/10.26858/jptp.v10i1.1590>
- Suwasono, S., Masahid, A. D., Pertiwi, R. I. P., & Soemarno, D. (2023). Aplikasi Starter Bakteri Asam Laktat Bentuk Sel Bebas Pada Fermentasi Kopi Arabika Argopuro. *National Multidisciplinary Sciences*, 2(3), 199–208. <https://doi.org/10.32528/nms.v2i3.286>
- Winanti, A. A., & Handoko, Y. A. (2024). Pengaruh Penambahan Kultur *Lactobacillus plantarum* dan *Saccharomyces cerevisiae* terhadap Kualitas Biji Kopi Arabika (*Coffea arabica* L.). *Agroteknika*, 7(2), 124–137. <https://doi.org/10.55043/agroteknika.v7i2.255>
- Wibowo, Y., & Palupi, C. B. (2022). Analisis nilai tambah pengolahan biji kopi arabika (studi kasus: rumah kopi banjarsengon, Jember). *Repository Universitas Jember*. <https://repository.unej.ac.id/xmlui/handle/123456789/109190>
- Yusman, I., Rozak, O. A., Madinah, N., Dewi, L. P., Carlos, F., Sobari, D., ... & Azyura, M. H. (2025). Penerapan Teknologi Rekayasa Pengering Biji Kopi Menggunakan Lampu Sebagai Pemanas Pada Solar Dryer Dome. *Journal of Community Development and Disaster Management*, 7(1), 155–166. <https://doi.org/10.37680/jcd.v7i1.6726>
- Faridawati, D., Maulida, R. Y., & Sudarti, S. (2023). Potensi medan magnet extremely low frequency (elf) untuk meningkatkan kualitas fermentasi. *Eduproxima (Jurnal Ilmiah*

- Pendidikan IPA), 5(2), 199-204. <https://doi.org/10.29100/.v5i2.4208>
- Yulandari, A., Sudarti, S., & Yushardi, Y. (2024). Dosis Efektif Radiasi Medan Magnet Elf Untuk Memicu Perkembangbiakan Bakteri. *OPTIKA: Jurnal Pendidikan Fisika*, 8(1), 205-212. <https://doi.org/10.37478/optika.v8i1.4182>
- Mo, C., Johnston, R., Navarini, L., Liverani, F. S., & Ellero, M. (2023). Exploring the link between coffee matrix microstructure and flow properties using combined X-ray microtomography and smoothed particle hydrodynamics simulations. *Scientific Reports*, 13(1), 16374. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-42380-y>.