



Penerapan Sterilisasi Non-Termal Berbasis HPEF–UV sebagai Solusi Peningkatan Mutu Susu pada Rembangan Dairy Farm

¹Budi Hariono, ¹Dimas Triardianto, ¹Adhima Adhamatika, ¹Findi Citra Kusumasari, ¹Angga Herviona Ikhwanudin, ¹Nurul Widadi

¹Jurusan Teknologi Pertanian, Politeknik Negeri Jember

findi.citra@polije.ac.id

| Article Info | Abstract |
|--|--|
| <p>Article History Received: 5th December 2025 Revised: 9th January 2026 Published: 4th February 2026</p> <p>Keywords: High pulsed electric field, food safety, non-thermal, fresh milk, UV</p> | <p><i>Rembangan Dairy Farm is a center for the production of fresh milk and pasteurized milk in the tourist area of Rembangan, Jember. However, the processing method, which still relies on conventional pasteurization, causes the sensory quality to deteriorate easily and is unable to overcome thermophilic microorganisms, resulting in limited product safety and shelf life. This community service activity aims to improve milk quality and safety through the application of non-thermal sterilization technology based on High Pulsed Electric Field–Ultraviolet (HPEF–UV) and strengthening the capacity of partners in operating the equipment. The implementation of activities includes identifying partner conditions, designing and manufacturing HPEF–UV equipment, and dissemination through socialization of equipment use and troubleshooting. The evaluation of effectiveness was carried out through structured interviews and checklist-based observations to assess the improvement in the partners' knowledge and technical skills. The results of the activity showed an increase in the partners' understanding of the principles of non-thermal sterilization, the functions of equipment components, and the work stages in the SOP. The partners were also able to operate the equipment independently and handle basic technical problems. The implementation of HPEF–UV technology provides a solution to the limitations of pasteurization and increases the readiness of partners to produce safer, more stable, and more competitive milk as a leading tourism product in Rembangan. This activity proves that the transfer of appropriate technology can strengthen the empowerment of partners while increasing the added value of local livestock products.</i></p> |

| Informasi Artikel | Abstrak |
|--|---|
| <p>Sejarah Artikel Diterima: 5 Desember 2025 Direvisi: 9 Januari 2026 Dipublikasi: 4 Februari 2026</p> <p>Kata kunci High pulsed electric field, keamanan pangan, non termal, susu segar, UV</p> | <p>Rembangan Dairy Farm merupakan sentra produksi susu segar dan susu pasteurisasi di kawasan wisata Rembangan, Jember. Namun, proses pengolahan yang masih bergantung pada pasteurisasi konvensional menyebabkan mutu sensoris mudah menurun dan tidak mampu mengatasi mikroorganisme termofilik, sehingga keamanan dan umur simpan produk masih terbatas. Kegiatan pengabdian ini bertujuan meningkatkan mutu dan keamanan susu melalui penerapan teknologi sterilisasi non-thermal berbasis High Pulsed Electric Field–Ultraviolet (HPEF–UV) serta penguatan kapasitas mitra dalam pengoperasian alat. Pelaksanaan kegiatan meliputi identifikasi kondisi mitra, perancangan dan pembuatan alat HPEF–UV, serta diseminasi melalui sosialisasi penggunaan alat, dan troubleshooting. Evaluasi keberhasilan dilakukan melalui wawancara terstruktur dan observasi berbasis checklist untuk menilai peningkatan pengetahuan dan keterampilan teknis mitra. Hasil kegiatan menunjukkan</p> |

peningkatan pemahaman mitra terhadap prinsip sterilisasi non-termal, fungsi komponen alat, dan tahapan kerja dalam SOP. Mitra juga mampu mengoperasikan alat secara mandiri dan menangani masalah teknis dasar. Implementasi teknologi HPEF–UV memberikan solusi terhadap keterbatasan pasteurisasi serta meningkatkan kesiapan mitra untuk menghasilkan susu yang lebih aman, stabil, dan kompetitif sebagai produk unggulan wisata Rembangan. Kegiatan ini membuktikan bahwa transfer teknologi tepat guna dapat memperkuat keberdayaan mitra sekaligus meningkatkan nilai tambah produk peternakan lokal.

PENDAHULUAN

Subsektor peternakan sapi perah memiliki kontribusi penting bagi pemenuhan kebutuhan pangan nasional karena permintaan susu segar terus mengalami peningkatan setiap tahunnya. Pada tingkat global terutama di negara berkembang termasuk Indonesia, permintaan akan susu diperkirakan mengalami peningkatan hingga 35% pada tahun 2030 (Adesogan & Dahl, 2020). Kabupaten Jember merupakan salah satu wilayah dengan prospek pengembangan sapi perah yang kuat, didukung oleh kondisi agroklimat dataran tinggi yang sesuai dan tren peningkatan agroindustri susu sapi di daerah tersebut. Berdasarkan data Badan Pusat Statistik, populasi sapi perah di Jember mencapai 1.567 ekor pada tahun 2022, menunjukkan bahwa wilayah ini memiliki potensi yang signifikan dalam penyediaan susu segar lokal yang implementasinya sangat ditentukan oleh kinerja peternakan sapi perah pada tingkat unit usaha (BPS, 2023).

Salah satu unit usaha yang merepresentasikan pemanfaatan potensi tersebut adalah Rembangan Dairy Farm, peternakan sapi perah yang beroperasi di kawasan wisata Rembangan, Kabupaten Jember. Peternakan ini tidak hanya berperan sebagai produsen susu segar, tetapi juga menjadi destinasi wisata edukasi yang memungkinkan pengunjung mengenal proses pemeliharaan sapi dan pemerahan susu. Saat ini, peternakan memelihara 50 ekor sapi, terdiri dari 44 ekor sapi perah sebagai penghasil utama susu dan selebihnya sapi pedaging jenis limosin. Produksi susu segar mencapai sekitar 20 liter per hari yang dipasarkan secara langsung kepada konsumen dan agen lokal. Oleh sebab itu Rembangan Dairy Farm memiliki peran penting dalam suplai susu segar masyarakat sekaligus menjadi etalase wisata pangan segar di Kabupaten Jember.

Produksi susu segar sendiri menghadapi tantangan utama berupa risiko kontaminasi mikroba patogen maupun bakteri perusak mutu. Seperti dilaporkan Deddefo et al., (2023), susu segar sangat rentan tercemar apabila proses pemerahan, penanganan, dan penyimpanan tidak dilakukan secara higienis. Rembangan Dairy Farm menghasilkan dua jenis produk, yaitu susu segar dan susu pasteurisasi. Metode pasteurisasi dapat secara efektif menurunkan mikroba patogen namun masih memiliki keterbatasan, terutama degradasi nutrisi sensitif panas serta terbentuknya reaksi Maillard dan oksidasi lipid yang memicu aroma sulfurik dan rasa “cooked” (Rabbani et al., 2025). Selain itu, pasteurisasi tidak sepenuhnya mampu menginaktivasi mikroorganisme termodur, seperti spora *Bacillus* dan *Clostridium*, yang dapat mempercepat kerusakan selama penyimpanan (Lim et al., 2019). Di sisi lain, konsumen menunjukkan preferensi yang semakin kuat terhadap produk susu yang diproses secara minimal (*minimally processed*) dan berlabel bersih (*clean label*) yang mempertahankan karakter alami, nilai gizi, dan kesegaran sensori. Pergeseran preferensi ini menegaskan bahwa pasteurisasi konvensional menjadi kurang ideal, khususnya untuk pemasaran susu berbasis wisata yang menuntut kualitas sensori dan citra produk alami. Kelemahan ini membuat susu pasteurisasi produksi skala menengah kurang ideal untuk memenuhi tuntutan kualitas dan kesegaran dalam pemasaran berbasis wisata.

Kebutuhan konsumen akan susu yang lebih segar dan bernilai gizi tinggi menuntut teknologi pengolahan yang mampu menjamin keamanan tanpa menurunkan mutu. *High Pulsed*

Electric Field (HPEF) menjadi solusi potensial karena bekerja secara non-termal melalui kombinasi tekanan tinggi dan medan listrik yang merusak membran sel mikroba, menghasilkan inaktivasi yang efektif tanpa merusak nutrisi maupun karakter sensoris (Cavalcanti et al., 2023; Ghoshal, 2023). Oleh sebab itu teknologi HPEF dapat menghasilkan keamanan mikrobiologis setara atau lebih baik dibanding pasteurisasi, serta mempertahankan kesegaran alami susu. Berdasarkan potensi, tantangan higiene, dan kebutuhan peningkatan mutu produk, kegiatan pengabdian kepada masyarakat di Rembangan Dairy Farm bertujuan untuk mengimplementasikan teknologi HPEF. Adapun tujuan utamanya meliputi: (1) meningkatkan mutu dan keamanan susu melalui sterilisasi non-termal; (2) menekan risiko kontaminasi pasca-pemerahan; (3) memperpanjang umur simpan tanpa degradasi sensoris; dan (4) meningkatkan daya saing serta nilai komersial susu lokal. Melalui penerapan teknologi ini, Rembangan Dairy Farm berpotensi berkembang tidak hanya sebagai produsen susu, tetapi juga sebagai model penerapan inovasi pengolahan modern di sektor peternakan daerah.

METODE

Kegiatan pengabdian kepada masyarakat ini dilaksanakan di Rembangan Dairy Farm yang berlokasi di Desa Kemuning Lor Kabupaten Jember. Metode pelaksanaan kegiatan meliputi empat tahapan utama, yaitu identifikasi kondisi mitra, perancangan dan pembuatan alat, diseminasi alat ke lokasi mitra dan evaluasi kegiatan. Kegiatan dilaksanakan pada bulan Agustus – November 2025.

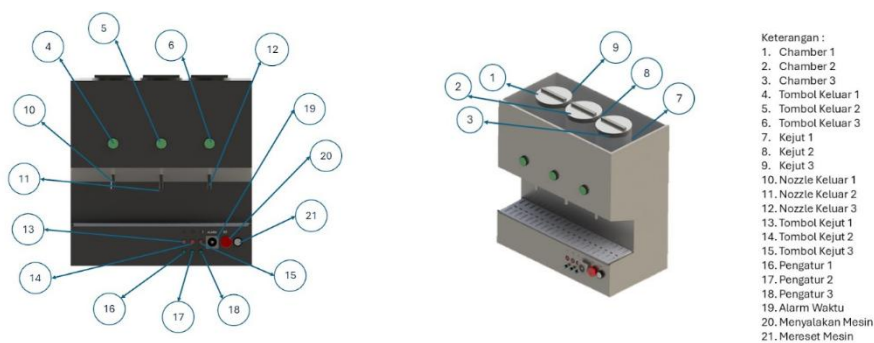
a. Identifikasi Kondisi Mitra

Identifikasi permasalahan dilakukan melalui observasi terstruktur menggunakan lembar *checklist* higiene dan sanitasi pengolahan susu yang disusun mengacu pada prinsip CPPOB, serta wawancara semi-terstruktur dengan pemilik dan operator Rembangan Dairy Farm menggunakan panduan wawancara terkait proses penanganan susu, efektivitas pasteurisasi, dan potensi risiko mikrobiologis. Kegiatan pengabdian ini tidak menggunakan kuesioner tertutup, karena pengumpulan data difokuskan pada kondisi aktual dan praktik operasional mitra sebagai dasar perancangan solusi teknologi yang tepat guna.

b. Perancangan dan Pembuatan Alat

Mesin sterilisasi berbasis High Pressure Electric Field (HPEF) dan UV dikembangkan sesuai kapasitas produksi dan kebutuhan operasional mitra. Rancangan alat yang dikembangkan terdapat pada Gambar 1. Proses perancangan meliputi pemilihan komponen utama, penyusunan desain teknis, serta fabrikasi perangkat secara bertahap hingga menghasilkan prototipe yang siap diuji. Pada tahap ini, pertimbangan efisiensi energi, kemudahan penggunaan, dan keamanan operasional menjadi fokus utama untuk memastikan alat dapat dioperasikan oleh mitra secara berkelanjutan.

Uji prototipe dilakukan melalui pengujian kelayakan mekanik, kestabilan tegangan, dan efektivitas inaktivasi mikroba. Kelayakan mekanik diuji dengan pengoperasian berulang untuk memastikan keamanan dan keandalan alat, sedangkan kestabilan tegangan dievaluasi melalui pemantauan output listrik selama operasi.



Gambar 1. Design Alat Sterilisasi Minuman Berbasis HPEF-UV

Spesifikasi teknis dari alat yang dikembangkan yaitu:

- Tegangan listrik output : 10-40 kV
- Frekuensi pulsa (Hz) : 10-60 Hz
- Konsumsi Daya Listrik (Watt): 455 Watt
- Selisih temperatur bahan : 0.4⁰C
- Kapasitas chamber : 3.11 L
- Kapasitas debit keluaran bahan : 1535 mL/menit

c. Diseminasi

Diseminasi alat ke lokasi mitra berlangsung selama 1 hari dengan melibatkan 15 orang karyawan Rembangan Dairy Farm. Kegiatan mencakup instalasi mesin HPEF di Rembangan Dairy Farm, pelatihan operasional bagi pengelola dan staf, serta pendampingan awal untuk memastikan alat digunakan sesuai prosedur. Diseminasi ini sekaligus menjadi langkah penguatan kapasitas mitra dalam mengadopsi teknologi non-termal yang lebih modern agar mutu dan keamanan susu segar dapat meningkat secara konsisten. Melalui keempat tahapan tersebut, kegiatan pengabdian ditujukan untuk menghasilkan solusi yang aplikatif, berkelanjutan, dan berdampak langsung terhadap peningkatan kualitas produk dan proses produksi di Rembangan Dairy Farm.

d. Evaluasi

Evaluasi kegiatan dilakukan menggunakan pendekatan *capacity enhancement assessment* yang dirancang untuk mengukur perubahan pengetahuan, keterampilan, dan penerapan operasional setelah proses diseminasi alat HPEF-UV (Saleh et al., 2022). Evaluasi dilakukan melalui tiga instrumen utama yang disesuaikan dengan indikator pengukuran, yaitu: (1) wawancara terstruktur untuk mengukur pemahaman mitra mengenai prinsip kerja HPEF-UV, fungsi komponen, dan (2) observasi langsung berbasis *checklist* kompetensi untuk menilai kemampuan praktis mitra dalam menjalankan prosedur operasional, termasuk persiapan alat, pengaturan parameter teknis, pengoperasian, serta *troubleshooting* dasar.

HASIL DAN PEMBAHASAN

a. Identifikasi kondisi mitra

Rembangan Dairy Farm merupakan peternakan sapi perah dengan produksi susu sekitar 20 liter/hari dari 15 ekor sapi perah. Hasil observasi menunjukkan bahwa meskipun proses pemerahan telah menggunakan milk liner, praktik higiene pascapemerahan dan pengendalian mikroba masih terbatas. Proses pasteurisasi konvensional yang diterapkan belum efektif terhadap mikroorganisme termofilik dan berpotensi menyebabkan degradasi nutrisi, sehingga umur simpan dan stabilitas mutu sensoris produk masih rendah (Wang et al., 2024). Selain itu,

keterbatasan fasilitas sanitasi, kapasitas pendinginan, dan kompetensi teknis pekerja menjadi kendala utama dalam penerapan teknologi pengolahan yang lebih maju.



Gambar 2. Peternakan sapi dan produk susu sapi segar

b. Perancangan dan pembuatan alat

Hasil perancangan menunjukkan bahwa prototipe sterilisasi minuman berbasis HPEF–UV berhasil dikembangkan melalui integrasi sistem medan listrik tegangan tinggi, modul UV, dan aliran kontinu berbahan *food-grade*. Prototipe dirancang dengan parameter operasional yang disesuaikan dengan kapasitas produksi mitra, meliputi intensitas medan listrik, tekanan, dan laju alir susu, sehingga memungkinkan proses sterilisasi non-termal tanpa merusak karakteristik sensoris dan nutrisi produk. Keunikan desain prototipe terletak pada integrasi HPEF–UV dalam satu sistem aliran kontinu berkapasitas kecil yang disesuaikan dengan skala produksi mitra. Berbeda dengan sistem HPEF konvensional yang umumnya berbiaya tinggi dan berskala industri, prototipe ini dirancang menggunakan modul tegangan tinggi berdaya rendah, ruang perlakuan kompak berbahan *food-grade*, serta panel kontrol sederhana berbasis kebutuhan operasional peternak, sehingga lebih mudah dioperasikan, aman, dan ekonomis untuk usaha kecil menengah. Pengujian fungsional menunjukkan bahwa prototipe memenuhi aspek kelayakan mekanik dan kestabilan tegangan, serta mampu meningkatkan efektivitas pengendalian mikroba, sehingga alat dinilai layak diterapkan untuk mendukung peningkatan mutu dan keamanan susu di Rembangan Dairy Farm secara berkelanjutan, sejalan dengan temuan Guo et al., (2023).



Gambar 3. Alat sterilisasi minuman berbasis HPEF-UV

c. Diseminasi alat ke mitra

Diseminasi alat kepada mitra dilaksanakan melalui kegiatan sosialisasi terstruktur yang berfokus pada pemahaman fungsi, mekanisme kerja, dan prosedur pengoperasian alat sterilisasi HPEF–UV. Kegiatan ini mencakup penjelasan teknis mengenai alur proses sterilisasi, demonstrasi langsung penggunaan alat, serta pelatihan langkah demi langkah agar

pengelola dan pekerja Rembangan Dairy Farm mampu mengoperasikan perangkat secara aman dan konsisten. Selain itu, sesi *troubleshooting* disediakan untuk mengantisipasi potensi kendala operasional, seperti fluktuasi tegangan, ketidaksesuaian aliran produk, atau indikasi kegagalan sistem.



Gambar 4. Kegiatan diseminasi alat sterilisasi minuman berbasis HPEF-UV

d. Evaluasi kegiatan

Hasil evaluasi menunjukkan bahwa diseminasi teknologi HPEF-UV berhasil meningkatkan keberdayaan mitra pada aspek pengetahuan dan keterampilan operasional. Wawancara terstruktur menunjukkan bahwa mitra telah memahami prinsip kerja alat, fungsi komponen, serta langkah-langkah kritis dalam SOP. Sementara itu, observasi berbasis *checklist* memperlihatkan bahwa mitra mampu mengoperasikan alat sesuai prosedur serta menangani beberapa kendala teknis dasar secara mandiri. Secara keseluruhan, kedua temuan ini mengonfirmasi bahwa transfer teknologi berjalan efektif dan mitra berada pada tahap operasional yang cukup mandiri untuk memanfaatkan alat dalam proses produksi. Evaluasi keberdayaan mitra disajikan pada Tabel 1.

Peningkatan pengetahuan dan keterampilan mitra tidak hanya menunjukkan keberhasilan transfer teknologi, tetapi juga dipengaruhi oleh pendekatan pelatihan yang aplikatif dan partisipatif. Metode pelatihan dilakukan melalui kombinasi penjelasan singkat berbasis SOP, demonstrasi langsung penggunaan alat, serta praktik mandiri, sehingga mitra tidak hanya memahami konsep HPEF-UV secara teoritis, tetapi juga terbiasa dengan alur operasional secara nyata. Pendekatan ini memudahkan mitra dalam mengaitkan materi dengan aktivitas produksi sehari-hari. Selain itu, desain prototipe yang *user-friendly* dan disesuaikan dengan skala usaha mitra berkontribusi signifikan terhadap peningkatan keterampilan operasional. Penggunaan panel kontrol sederhana, indikator keamanan yang jelas, serta sistem aliran kontinu berkapasitas kecil memungkinkan alat dioperasikan tanpa latar belakang teknis khusus. Implikasi dari temuan ini adalah meningkatnya kemandirian mitra dalam pengoperasian dan perawatan alat, yang menjadi faktor kunci bagi keberlanjutan program pengabdian, karena teknologi dapat terus dimanfaatkan dan direplikasi tanpa ketergantungan intensif pada tim pelaksana.

Meskipun kegiatan pengabdian menunjukkan hasil yang positif, terdapat beberapa keterbatasan selama implementasi. Salah satu kendala utama adalah ketersediaan dan kestabilan listrik di lokasi mitra, yang memengaruhi konsistensi pengujian alat berbasis tegangan tinggi. Selain itu, adaptasi awal mitra terhadap teknologi non-termal memerlukan waktu pendampingan yang lebih intensif, terutama pada tahap pengaturan parameter dan

prosedur *troubleshooting*. Keterbatasan waktu pelaksanaan juga membatasi frekuensi uji coba lanjutan, sehingga evaluasi jangka panjang terhadap kinerja alat dan dampaknya terhadap keberlanjutan produksi belum dapat dilakukan secara optimal.

Tabel 1. Evaluasi Keberdayaan Mitra

| Aspek Evaluasi | Indikator yang dinilai | Metode Pengukuran/Skala Likert | Hasil |
|--------------------------|--|--|--|
| Pengetahuan | <ul style="list-style-type: none"> - Pemahaman prinsip HPEF-UV - Fungsi komponen utama - Poin penting SOP | Wawancara terstruktur dan tes lisan menggunakan skala likert 1-5 | Skor rata-rata pemahaman 4,2/5; sekitar 90% mitra mampu menjelaskan kembali alur sterilisasi, tujuan proses non-termal, dan elemen utama SOP |
| Keterampilan operasional | <ul style="list-style-type: none"> - Menjalankan alat sesuai SOP - Mengatur parameter teknis - Melakukan prosedur pra-operasi dan pasca-operasi | Observasi langsung menggunakan checklist (Mampu/Tidak mampu) | 100% tahapan operasional dapat dilakukan dengan benar, dan 80% mitra mampu mengoperasikan alat tanpa pendampingan intensif |
| Troubleshooting Dasar | <ul style="list-style-type: none"> - Menangani gangguan minor - Mampu melakukan pengecekan mandiri | Observasi dan simulasi kasus sederhana (Mampu/Tidak Mampu) | Mitra mampu menangani $\pm 70\%$ gangguan dasar dan memahami langkah penanganan awal secara mandiri |

e. Implikasi Tindak Lanjut dan Dampak Kegiatan

Program penerapan teknologi HPEF–UV di Rembangan Dairy Farm menghasilkan peningkatan kapasitas mitra dalam pengoperasian alat, penanganan masalah dasar, dan penerapan SOP, sehingga membuka peluang tindak lanjut berupa pendampingan pemeliharaan alat, optimasi parameter sterilisasi, dan integrasi sistem kontrol mutu yang lebih terstandar. Dampaknya terlihat pada peningkatan mutu dan keamanan susu, efisiensi proses, serta kesiapan mitra untuk memperluas pasar produk susu berbasis wisata. Pembelajaran penting dari program ini menunjukkan bahwa transfer teknologi akan efektif bila didukung pelatihan teknis, dokumentasi SOP, dan mekanisme *troubleshooting* yang jelas. Ke depan, program dapat dikembangkan ke arah peningkatan kapasitas produksi, diversifikasi produk susu, serta replikasi teknologi HPEF–UV pada peternakan lain yang menghadapi tantangan serupa, sehingga memperkuat model pengolahan susu berbasis teknologi tepat guna di tingkat lokal.

KESIMPULAN

Kegiatan pengabdian di Rembangan Dairy Farm berhasil menguatkan kapasitas mitra dalam meningkatkan mutu dan keamanan susu melalui penerapan teknologi sterilisasi non-termal berbasis HPEF–UV. Implementasi teknologi ini memberikan solusi terhadap keterbatasan pasteurisasi konvensional yang masih menyisakan risiko penurunan mutu sensoris dan ketahanan mikrobiologis. Pelatihan operasional, pendampingan troubleshooting, dan penyusunan SOP memungkinkan mitra menguasai penggunaan alat secara mandiri dan konsisten. Evaluasi berbasis wawancara dan observasi menunjukkan peningkatan nyata pada pemahaman teknis, keterampilan operasional, serta kesiapan mitra dalam mengintegrasikan alat ke dalam proses produksi harian. Dengan demikian, program ini tidak hanya menghasilkan inovasi teknologi yang aplikatif, tetapi juga memperkuat keberdayaan mitra untuk menyediakan susu yang lebih aman, bermutu, dan kompetitif sebagai produk unggulan kawasan wisata Rembangan.

PENGHARGAAN

Tim pelaksana kegiatan mengucapkan terima kasih kepada Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi, Riset, dan Teknologi yang telah memberikan dukungan pendanaan melalui Program Dana Padanan Tahun Anggaran 2025 dengan nomor kontrak 15753/PL17/PG/2025. Tim juga mengucapkan terima kasih kepada Pusat Penelitian dan Pengabdian Masyarakat (P3M) Politeknik Negeri Jember, serta Rembangan Dairy Farm

DAFTAR PUSTAKA

- Adesogan, A. T., & Dahl, G. E. (2020). MILK Symposium Introduction: Dairy production in developing countries. *Journal of Dairy Science*, 103(11), 9677–9680. <https://doi.org/10.3168/jds.2020-18313>
- BPS. (2023). *Populasi Ternak Sapi Perah dan Sapi Potong Menurut Kabupaten/Kota dan Jenis Ternak di Provinsi Jawa Timur (ekor), 2021 dan 2022*. Badan Pusat Statistik.
- Cavalcanti, R. N., Balthazar, C. F., Margalho, L. P., Freitas, M. Q., Sant’Ana, A. S., & Cruz, A. G. (2023). Pulsed electric field-based technology for microbial inactivation in milk and dairy products. In *Current Opinion in Food Science* (Vol. 54). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2023.101087>
- Deddefo, A., Mamo, G., Asfaw, M., & Amenu, K. (2023). Factors affecting the microbiological quality and contamination of farm bulk milk by *Staphylococcus aureus* in dairy farms in Asella, Ethiopia. *BMC Microbiology*, 23(1), 65. <https://doi.org/10.1186/s12866-022-02746-0>
- Ghoshal, G. (2023). Comprehensive review on pulsed electric field in food preservation: gaps in current studies for potential future research. In *Heliyon* (Vol. 9, Issue 6). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e17532>
- Guo, J., Zhu, H., Yang, Y., & Guo, Q. (2023). Continuous-Flow Microwave Milk Sterilisation System Based on a Coaxial Slot Radiator. *Foods*, 12(3), 459. <https://doi.org/10.3390/foods12030459>
- Lim, S.-Y., Benner, L. C., & Clark, S. (2019). Neither thermosonication nor cold sonication is better than pasteurization for milk shelf life. *Journal of Dairy Science*, 102(5), 3965–3977. <https://doi.org/10.3168/jds.2018-15347>

- Rabbani, A., Ayyash, M., D'Costa, C. D. C., Chen, G., Xu, Y., & Kamal-Eldin, A. (2025). Effect of Heat Pasteurization and Sterilization on Milk Safety, Composition, Sensory Properties, and Nutritional Quality. *Foods*, *14*(8), 1342. <https://doi.org/10.3390/foods14081342>
- Saleh, S., Mansour, R., Daou, T., Brome, D., & Naal, H. (2022). Assessing innovative approaches for global health capacity building in fragile settings in the MENA region: development of the evaluation of capacity building (eCAP) program. *Conflict and Health*, *16*(1), 31. <https://doi.org/10.1186/s13031-022-00462-0>
- Wang, Y., Xiao, R., Liu, S., Wang, P., Zhu, Y., Niu, T., & Chen, H. (2024). The Impact of Thermal Treatment Intensity on Proteins, Fatty Acids, Macro/Micro-Nutrients, Flavor, and Heating Markers of Milk—A Comprehensive Review. *International Journal of Molecular Sciences*, *25*(16), 8670. <https://doi.org/10.3390/ijms25168670>