JURNAL ILMIAH INOVASI

Vol. 25, No. 3, Des 2025
E-ISSN : 2527-6220 | P-ISSN : 1411-5549
DOI : 10.25047/jii.v25i3.6526

Pengaruh Kombinasi Frekuensi dan Lama Waktu Perlakuan High Pulsed Electric Field dan Sinar Ultraviolet Terhadap Kualitas Susu Sapi Segar

Combined Effects of Frequency and Treatment Duration of High Pulsed Electric Field and Ultraviolet Light on Fresh Cow Milk Quality

Budi Hariono[1], Dimas Triardianto[1*], Adhima Adhamatika[1], Findi Citra Kusumasari[1]

[1] Department of Agricultural Technology, Politeknik Negeri Jember
dimas.triardianto@polije.ac.id

ABSTRAK

Susu sapi segar merupakan bahan pangan bergizi tinggi yang mudah rusak akibat aktivitas mikroba dan enzim. Proses pemanasan konvensional seperti pasteurisasi dan sterilisasi termal dapat memperpanjang umur simpan, tetapi berpotensi menurunkan kualitas sensori dan nilai gizi. Oleh karena itu, teknologi non-termal seperti *High Pulsed Electric Field* (HPEF) dan penyinaran ultraviolet (UV) mulai dikembangkan sebagai alternatif. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh frekuensi dan lama waktu perlakuan kombinasi HPEF – UV terhadap mutu susu sapi segar, dengan parameter warna (*lightness, redness, yellowness*), pH, dan EC (*electrical conductivity)*. Penelitian dilakukan dengan mengkombinasikan dua faktor. Faktor pertama adalah frekuensi HPEF (10, 20, dan 30 Hz), sedangkan faktor kedua adalah lama waktu perlakuan (10, 15, dan 20 menit). Parameter warna diuji menggunakan colorimeter, pH dan EC diukur menggunakan water quality tester, dan data dianalisis menggunakan two-way ANOVA serta uji lanjut DMRT pada taraf 5%. Hasil penelitian menunjukkan bahwa frekuensi dan lama waktu perlakuan berpengaruh nyata terhadap semua parameter mutu. Nilai *lightness* (L*) dan *redness* (a*) menurun dengan meningkatnya frekuensi dan durasi perlakuan, menandakan sedikit penggelapan warna dan penurunan rona kemerahan akibat perubahan struktur protein dan lemak. Sebaliknya, nilai *yellowness* (b*) meningkat signifikan, menunjukkan penguatan rona kekuningan. Perlakuan HPEF – UV juga mampu mempertahankan kestabilan pH, mengindikasikan inaktivasi enzim penghasil asam dan penurunan aktivitas mikroba. Sementara nilai EC menurun pada frekuensi rendah, namun meningkat kembali pada frekuensi tinggi akibat pelepasan ion-ion bebas dari efek elektroporasi ireversibel.

Kata kunci — HPEF, susu sapi, UV

ABSTRACT

Fresh cow's milk is a highly nutritious food product that is easily spoiled due to microbial and enzymatic activity. Conventional heat treatments such as pasteurization and thermal sterilization can extend shelf life but may compromise sensory quality and nutritional value. Therefore, non-thermal technologies such as High Pulsed Electric Field (HPEF) and ultraviolet (UV) irradiation have been developed as promising alternatives. This study aimed to analyze the effects of frequency and treatment duration of combined HPEF–UV processing on the quality of fresh cow's milk, using color parameters (lightness, redness, yellowness), pH, and electrical conductivity (EC) as indicators. The experiment employed a two-factor design: the first factor was HPEF frequency (10, 20, and 30 Hz), and the second factor was treatment duration (10, 15, and 20 minutes). Color parameters were measured using a colorimeter, while pH and EC were determined with a water quality tester. Data were analyzed using two-way ANOVA followed by Duncan's Multiple Range Test (DMRT) at a 5% significance level. The results showed that both frequency and treatment duration had significant effects on all quality parameters. Lightness (L) and redness (a) values decreased with increasing frequency and treatment time, indicating slight darkening and reduced reddish hue due to protein and fat structural modifications. Conversely, yellowness (b) increased significantly, suggesting enhanced yellow tones. The combined HPEF–UV treatment also maintained pH stability, indicating enzyme inactivation and reduced microbial activity. Meanwhile, EC values decreased at lower frequencies but increased at higher frequencies, likely due to the release of free ions resulting from irreversible electroporation effects*

Keywords — *fresh cow milk, HPEF, UV*

OPEN ACCESS
© 2025. Budi Hariono, Dimas Triardianto, Adhima Adhamatika, Findi Citra Kusumasari
Creative Commons
Attribution 4.0 International License

1. Pendahuluan

Susu sapi segar merupakan bahan pangan bernutrisi tinggi yang kaya akan protein, lemak, laktosa, vitamin, dan mineral, serta sangat dibutuhkan sebagai sumber gizi dan protein hewani di Indonesia. Namun demikian, kandungan air yang tinggi dan komposisi gizi yang mudah terdegradasi membuat susu mudah rusak akibat aktivitas mikroba dan enzim (Hariono *et al.*, 2021).

Salah satu upaya untuk mempertahankan kualitas susu sapi segar adalah dengan proses sterilisasi atau pasteurisasi secara termal. Namun metode termal tersebut berpotensi merusak senyawa sensitif panas seperti vitamin, denaturasi protein, perubahan warna, rasa, dan aroma susu (Triardianto *et al.*, 2024). Selain itu, proses termal memerlukan energi dan infrastruktur tinggi, yang menjadi beban bagi industri susu di daerah dengan fasilitas pendinginan terbatas.

Teknologi non-termal seperti HPEF (*High Pulsed Electric Field)* dan penyinaran UV (ultraviolet) telah menunjukkan potensi besar dalam memperpanjang umur simpan susu sekaligus mempertahankan mutu nutrisi dan sifat sensori yang lebih baik dibandingkan perlakuan pemanasan konvensional (Mariana *et al.*, 2020). Penggunaan kombinasi perlakuan HPEF dan UV berhasil menurunkan bakteri pada susu, dan tidak mengakibatkan perubahan terhadap karakter organoleptik dan masih dalam batas yang dapat diterima oleh konsumen (Suryaningsih *et al.*, 2022).

Walau demikian, penelitian terkait metode non-termal yang ada masih memiliki beberapa keterbatasan dan perlu dikembangkan lebih lanjut. Terutama pada jenis perlakuan terhadap beberapa parameter kritis pada produk susu sapi segar. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh dari frekuensi dan lama waktu perlakuan kombinasi HPEF – UV pada susu sapi segar, dengan parameter mutu yaitu warna (*lightness, redness, yellowness*), pH, dan EC (*electrical conductivity*).

Kebaruan penelitian ini terletak pada rentang nilai penggunaan kombinasi dua teknologi non-termal, yaitu variasi frekuensi listrik teganagan tinggi dan lama waktu proses, serta pengujian parameter mutu warna (*lightness, redness, yellowness*), pH, dan EC (*electrical conductivity*).

Hasil dari penelitian ini dapat menjadi dasar rekomendasi teknis bagi pengolahan susu sapi di Indonesia, terutama untuk UMKM maupun industri dengan fasilitas terbatas dan permintaan konsumen akan produk susu sapi segar yang aman dari mikroba dengan nilai gizi yang terjaga.

2. Metodologi

Penelitian dilakukan pada Laboratorium Teknologi Rekayasa Pangan, Politeknik Negeri Jember. Bahan yang digunakan merupakan susu sapi segar yang didapatkan langsung dari peternak sapi yang berada di daerah Rembangan, Jember. Sementara itu, alat yang digunakan merupakan alat sterilisasi minuman berbasis HPEF – UV yang dapat diatur nilai frekuensi listrik tegangan tinggi dan lama waktu proses sterilisasinya.

Rancangan penelitian terdiri dari dua faktor dengan masing – masing perlakuan terdiri dari tiga kali ulangan. Faktor pertama adalah frekuensi tegangan tinggi HPEF, dengan tiga level yaitu 10, 20 dan 30 Hz. Sementara faktor kedua adalah lama waktu HPEF dan penyinaran UV yang terdiri dari tiga level, yaitu 10, 15, dan 20 menit.

Parameter pengamatan yang dilakukan pada masing – masing sampel yaitu warna (CIE Lab), pH, dan EC. Parameter warna diuji menggunakan colour meter (Sucolor, model SC-10). Sementara nilai pH dan EC diukur menggunakan water quality tester (WT 501). Sedangkan nilai laktosa diuji dengan LactoStar © 2008 Funke Gerber.

Analisis data menggunakan two-way anova untuk melihat adanya pengaruh signifikan dari masing – masing faktor dan interaksi antar kedua faktor. Selanjutnya dilanjukan dengan uji lanjut *Duncan Multiple Range Test* (DMRT) dengan taraf kepercayaan 95% untuk melihat perbedaan signifikan pada masing – masing faktor. Selain

itu dilakukan juga uji One-Way Anova untuk mengetahui beda nyata dari masing – masing sampel. Ketiga analisis ini dilakukan dengan software SPSS 20.

3. Pembahasan

Warna *Lightness* (L*)

Nilai *lightness* (L*) menunjukkan tingkat kecerahan sampel, di mana nilai yang lebih tinggi mengindikasikan warna yang lebih cerah. Hasil pengukuran nilai lightness pada susu sapi segar tiap perlakuan dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Nilai Warna Lightness

Sampel	Warna Lightness (L*)
30 Hz - 20 Menit	66.10 ± 0.57^{a}
20 Hz - 20 Menit	71.14 ± 1.23^{b}
30 Hz - 15 Menit	71.62 ± 0.35^{bc}
20 Hz - 15 Menit	72.44 ± 0.64^{bcd}
30 Hz - 10 Menit	72.90 ± 0.48^{bcd}
10 Hz - 20 Menit	73.17 ± 0.79^{bcd}
10 Hz - 15 Menit	73.89 ± 0.30^{cde}
20 Hz - 10 Menit	74.52 ± 1.06^{de}
10 Hz - 10 Menit	75.77 ± 2.5^{e}
Kontrol	78.49 ± 1.21^{f}

Nilai *lightness* susu sapi segar setelah perlakuan HPEF – UV menunjukkan rentang nilai mulai 66.10 ± 0.57 hingga 75.77 ± 2.5, sedangkan sampel kontrol tanpa perlakuan memiliki nilai lightness tertinggi sebesar 78.49 ± 1.21. Secara umum, terlihat perlakuan HPEF – UV menurunkan nilai *lightness* dibandingkan kontrol, yang menunjukkan bahwa perlakuan HPEF – UV dapat menyebabkan sedikit penurunan kecerahan pada susu. Hal ini didukung dengan hasil analisis *two-way anova* yang menunjukan bahwa frekuensi listrik tegangan tinggi dan lama waktu proses berpengaruh nyata terhadap nilai lightness.

Penurunan nilai *lightness* tersebut berkorelasi dengan meningkatnya intensitas medan listrik dan lamanya waktu perlakuan. Sampel dengan perlakuan 30 Hz selama 20 menit menunjukkan nilai *lightness* terendah (66.10 ± 0.57), berbeda nyata dengan perlakuan lainnya ($p < 0.05$). Hal ini mengindikasikan bahwa frekuensi dan durasi yang lebih tinggi berpotensi menyebabkan perubahan fisik dan kimia pada komponen susu, seperti protein, lemak, dan pigmen minor yang dapat mempengaruhi kemampuan pantulan cahaya (Timmermans *et al.*, 2019).

Sementara itu penelitian Yilmaz et al. (2021) menjelaskan medan listrik bertegangan tinggi pada HPEF dapat menimbulkan perubahan konformasi protein kasein dan denaturasi parsial protein whey, yang mengubah dispersi partikel dalam medium susu. Perubahan ini dapat mengurangi kemampuan permukaan untuk memantulkan cahaya, sehingga menurunkan nilai *lightness*. Selain itu, mikrogelelektrik yang terbentuk akibat peningkatan permeabilitas membran lemak juga dapat meningkatkan interaksi antarpartikel dan menyebabkan warna susu tampak lebih kusam (López-Maloberti *et al.*, 2020).

Warna Redness (a*)

Nilai warna *redness* (a*) menunjukkan intensitas rona merah atau hijau pada sampel. Nilai a* positif mengindikasikan kecenderungan warna ke arah merah, sedangkan nilai a* negatif menunjukkan kecenderungan warna ke arah hijau. Hasil pengukuran nilai redness (a*) pada susu sapi segar tiap perlakuan dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Nilai Warna Redness (a*)

Sampel	Warna Redness (a*)
30 Hz - 20 Menit	-5.05 ± 0.64^{a}
30 Hz - 15 Menit	-4.17 ± 0.22^{b}
20 Hz - 20 Menit	-4.04 ± 0.51^{bc}
30 Hz - 10 Menit	-4.03 ± 0.58^{bc}
10 Hz - 20 Menit	-3.78 ± 0.46^{bcd}
20 Hz - 15 Menit	-3.41 ± 0.50^{bcd}
20 Hz - 10 Menit	-3.15 ± 0.25^{cd}
10 Hz - 15 Menit	-3.14 ± 0.15^{cd}
Kontrol	-3.03 ± 0.02^{d}
10 Hz - 10 Menit	-3.00 ± 0.14^{d}

Nilai *redness* (a*) pada susu sapi segar setelah perlakuan HPEF – UV menunjukkan kecenderungan menurun dibandingkan kontrol. Nilai a* terendah diperoleh pada perlakuan 30 Hz – 20 menit sebesar –5.05 ± 0.64, sedangkan nilai tertinggi diperoleh pada 10 Hz – 10 menit sebesar –3.00 ± 0.14, yang mendekati nilai kontrol (–3.03 ± 0.02). Sementara itu, hasil analisis *two-way anova* memvalidasi bahwa frekuensi listrik

tegangan tinggi dan lama waktu proses berpengaruh nyata terhadap nilai redness.

Tren penurunan nilai a* seiring peningkatan frekuensi dan lama waktu perlakuan menunjukkan bahwa intensitas medan listrik yang tinggi dapat mempengaruhi kestabilan pigmen dan komponen lemak dalam susu. Frekuensi tinggi dengan waktu perlakuan panjang berpotensi memicu reaksi oksidasi ringan terhadap asam lemak tak jenuh, sehingga menurunkan rona kemerahan (Pataro *et al.*, 2018). Selain itu, perubahan struktur protein kasein akibat efek elektropermeabilitas juga dapat memengaruhi pola hamburan cahaya, yang menyebabkan warna susu tampak lebih pucat atau kehijauan (Yousefi *et al*., 2019).

Warna *Yellowness* (b*)

Nilai warna *yellowness* (b*) menunjukkan intensitas rona kuning atau biru pada suatu bahan. Nilai b* positif menggambarkan kecenderungan warna ke arah kuning, sedangkan nilai negatif mengarah pada rona kebiruan. Hasil pengukuran nilai yellowness (b*) pada susu sapi segar tiap perlakuan dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Nilai Warna Yellowness (b*)

Sampel	Warna Yellowness (b*)
Kontrol	6.30 ± 0.04^{a}
10 Hz - 10 Menit	6.40 ± 0.09^{a}
20 Hz - 10 Menit	6.56 ± 0.24^{a}
30 Hz - 10 Menit	6.84 ± 0.74^{a}
10 Hz - 15 Menit	8.18 ± 0.016^{b}
20 Hz - 15 Menit	8.21 ± 0.19^{b}
30 Hz - 15 Menit	8.21 ± 0.19^{b}
10 Hz - 20 Menit	9.11 ± 1.21^{b}
20 Hz - 20 Menit	10.61 ± 0.85^{c}
30 Hz - 20 Menit	11.19 ± 0.09^{c}

Nilai b* pada susu sapi segar cenderung meningkat seiring dengan bertambahnya frekuensi dan lama waktu perlakuan HPEF – UV. Nilai b* terendah terdapat pada kontrol (6.30 ± 0.04) dan perlakuan 10 Hz – 10 menit (6.40 ± 0.09), sedangkan nilai tertinggi diperoleh pada perlakuan 30 Hz – 20 menit sebesar 11.19 ± 0.09. Berdasarkan hasil *two-way anova* diketahui jika lama waktu perlakuan berpengaruh signifikan terhadap nilai b*. Hal ini menunjukkan bahwa durasi perlakuan HPEF – UVmenyebabkan peningkatan rona kekuningan pada susu sapi.

Peningkatan warna kekuningan ini dapat dihubungkan dengan perubahan struktur koloid susu akibat paparan medan listrik, yang dapat meningkatkan kemampuan partikel untuk memantulkan cahaya kuning (Qiu *et al.*, 2020). Proses HPEF – UV diketahui dapat memodifikasi agregasi lemak dan protein tanpa menimbulkan kerusakan termal, sehingga warna susu tampak lebih cerah dengan rona kuning yang lebih kuat. Selain itu, komponen pigmen alami seperti riboflavin dan karotenoid yang terdapat dalam susu lebih stabil terhadap perlakuan non-termal dibandingkan terhadap proses pemanasan tinggi, sehingga tetap mempertahankan kontras warna kuning alaminya (Sampedro *et al.*, 2021).

pH

Nilai pH merupakan salah satu parameter kimia penting yang dapat mencerminkan derajat keasaman suatu bahan pangan. Penurunan nilai pH mengindikasikan terjadinya proses fermentasi atau degradasi akibat aktivitas mikroba dan enzim laktase yang memecah laktosa menjadi asam laktat (Zhao *et al*., 2022). Oleh karena itu, perubahan pH dapat digunakan sebagai indikator kestabilan kimia serta kualitas kesegaran susu. Hasil pengukuran nilai pH pada susu sapi segar tiap perlakuan dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Nilai pH

Sampel	pH
Kontrol	5.81 ± 0.02^{a}
20 Hz - 10 Menit	5.85 ± 0.01^{ab}
10 Hz - 10 Menit	5.93 ± 0.09^{bc}
30 Hz - 10 Menit	5.95 ± 0.06^{bc}
10 Hz - 15 Menit	5.99 ± 0.10^{c}
10 Hz - 20 Menit	6.10 ± 0.02^{d}
20 Hz - 15 Menit	6.14 ± 0.01^{e}
20 Hz - 20 Menit	6.15 ± 0.02^{e}
30 Hz - 15 Menit	6.16 ± 0.02^{e}
30 Hz - 20 Menit	6.17 ± 0.01^{e}

Nilai pH susu sapi segar kontrol sebesar 5.70 ± 0.02, sedangkan setelah perlakuan HPEF – UV terjadi penurunan nilai pH secara bertahap

seiring dengan menurunnya frekuensi dan lama waktu perlakuan. Nilai pH tertinggi diperoleh pada perlakuan 30 Hz – 20 menit sebesar 6.17 ± 0.01, yang menunjukkan terjaganya nilai pH dibandingkan kontrol. Sementara itu, perlakuan dengan frekuensi dan durasi yang lebih rendah menunjukkan nilai pH yang mulai menurun.

Hasil analisis two-way anova menunjukan bahwa ada pengaruh signifikan dari frekuensi listrik tegangan tinggi dan lama waktu proses terhadap nilai pH. Lebih terjaganya nilai pH sampel yang diberikan perlakuan HPEF – UV diakibatkan oleh inaktivasinya enzim-enzim penghasil asam serta penurunan aktivitas mikroorganisme asam laktat yang berperan dalam pembentukan asam laktat selama penyimpanan (Ramaswamy *et al*., 2020).

Electrical Conductivity (EC)

Nilai EC menggambarkan kemampuan susu dalam menghantarkan arus listrik, yang dipengaruhi oleh jumlah ion-ion terlarut seperti kalsium (Ca^{2+}), natrium (Na^{+}), kalium (K^{+}), klorida (Cl^{-}), dan komponen ionik lainnya (Maheswari *et al.,* 2016). Semakin tinggi konsentrasi ion-ion bebas tersebut, maka semakin besar pula nilai EC yang terukur (Fitriani *et al.,* 2021). Hasil pengukuran nilai Electrical Conductivity pada susu sapi segar tiap perlakuan dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Nilai *Electrical Conductivity*

Sampel	Electrical Conductivity
20 Hz - 10 Menit	4.49 ± 0.03^{a}
30 Hz - 10 Menit	4.51 ± 0.01^{a}
10 Hz - 10 Menit	4.58 ± 0.03^{b}
30 Hz - 15 Menit	4.66 ± 0.02^{c}
30 Hz - 20 Menit	4.66 ± 0.03^{c}
20 Hz - 15 Menit	4.68 ± 0.02^{c}
20 Hz - 20 Menit	4.73 ± 0.01^{d}
10 Hz - 15 Menit	4.83 ± 0.02^{e}
10 Hz - 20 Menit	5.06 ± 0.01^{f}
Kontrol	5.19 ± 0.01^{g}

Tabel 5 menunjukkan bahwa nilai EC susu sapi segar setelah perlakuan HPEF – UV memiliki rentang nilai antara 4.49 ± 0.03 hingga 5.06 ± 0.01 mS/cm, sedangkan sampel kontrol menunjukkan nilai tertinggi yaitu 5.19 ± 0.01 mS/cm. Secara umum, perlakuan HPEF cenderung menurunkan nilai EC susu dibandingkan kontrol, terutama pada frekuensi dan durasi yang lebih rendah (10–20 Hz selama 10–15 menit). Hal ini menunjukkan bahwa paparan medan listrik pulsa dapat memengaruhi stabilitas ionik dalam matriks susu. Hal ini didukung juga hasil analisis two-way anova yang menunjukan adanya pengaruh signifikan dari nilai frekuensi dan lama waktu proses terhadap EC.

Penurunan nilai EC pada sampel yang diberi perlakuan HPEF diduga disebabkan oleh interaksi antara ion-ion mineral dengan protein susu, terutama kasein, akibat terjadinya elektroporasi parsial dan restrukturisasi protein di bawah pengaruh medan listrik. Proses ini dapat memicu pembentukan kompleks ion-protein seperti kalsium-fosfokaseinat yang bersifat kurang terlarut, sehingga jumlah ion bebas di dalam medium berkurang dan menyebabkan penurunan konduktivitas listrik (Siregar *et al.,* 2019).

Namun, peningkatan durasi perlakuan (hingga 20 menit) atau peningkatan frekuensi (hingga 30 Hz) cenderung meningkatkan kembali nilai EC secara perlahan. Hal ini kemungkinan disebabkan oleh pelepasan ion-ion terperangkap akibat efek kumulatif pulsa listrik yang menyebabkan elektroporasi ireversibel pada sel mikroba atau membran globula lemak. Pelepasan ion tersebut dapat menambah jumlah ion bebas dalam sistem sehingga nilai EC meningkat (Toepfl *et al.,* 2006; Susilawati *et al.,* 2020).

4. Kesimpulan

Perlakuan kombinasi HPEF – UV terhadap bahan susu sapi segar berpengaruh nyata terhadap seluruh parameter mutu yang diamati. Secara umum, peningkatan frekuensi dan lama waktu perlakuan menurunkan nilai *lightness* (L*) dan *redness* (a*) menandakan terjadinya sedikit penggelapan warna dan berkurangnya rona kemerahan akibat perubahan struktur protein dan lemak susu. Sebaliknya, nilai *yellowness* (b*) meningkat secara signifikan, dimana ini menunjukkan penguatan rona kekuningan seiring dengan meningkatnya frekuensi dan durasi perlakuan, tanpa menyebabkan kerusakan termal pada pigmen alami susu. Selain itu, HPEF – UV

mampu mempertahankan kestabilan pH, dimana ini mengindikasikan inaktivasi enzim dan mikroba penghasil asam. Sementara itu, nilai EC menurun pada perlakuan frekuensi dan durasi rendah, namun meningkat kembali pada perlakuan tinggi akibat pelepasan ion-ion bebas dari efek elektroporasi ireversibel.

5. Daftar Pustaka

[1] Fitriani, R., Nurhayati, D., & Mahfud, H. (2021). Perubahan sifat fisik dan kimia susu segar akibat perlakuan termal dan non-termal. Jurnal Teknologi dan Industri Pangan Indonesia, 32(2), 145–152.

[2] Hariono, B., Erawantini, F., Budiprasojo, A., & Puspitasari, T. D. (2021). *Perbedaan nilai gizi susu sapi setelah pasteurisasi non termal dengan HPEF (High Pulsed Electric Field)*. *AcTion: Aceh Nutrition Journal*, 6(2). https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.06.001

[3] Maheswari, I., Suryani, E., & Putra, D. (2016). Aplikasi medan listrik pulsa terhadap stabilitas susu segar selama penyimpanan dingin. Jurnal Teknologi dan Industri Pangan, 27(1), 35–42.

[4] Mariana M. Delorme, Jonas T. Guimarães, Nathália M. Coutinho, Celso F. Balthazar, Ramon S. Rocha, Ramon Silva, Larissa P. Margalho, Tatiana C. Pimentel, Marcia C. Silva, Monica Q. Freitas, Daniel Granato, Anderson S. Sant'Ana, Maria Carmela K.H. Duart, Adriano G. Cruz. 2020. Ultraviolet radiation: An interesting technology to preserve quality and safety of milk and dairy foods. Journal of Trends in Food Science & Technology.102: 146-154,

[5] Pataro, G., Sinik, M., Capitoli, M., & Ferrari, G. (2018). Impact of pulsed electric fields and high pressure on color and pigments of plant-based products. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 45, 1–8.

[6] Qiu, Z., Chen, H., & Zhang, H. (2020). Influence of pulsed electric field treatment on colloidal and optical properties of milk. *Journal of Dairy Science*, 103(5), 3995–4005.

[7] Ramaswamy, H. S., Shamsher, S., & Sarangapani, C. (2020). Effect of pulsed electric field on inactivation kinetics of spoilage microorganisms in milk. LWT - Food Science and Technology, 133, 110080.

[8] Sampedro, F., McAuley, C. M., & Fan, X. (2021). Nonthermal processing effects on milk color and stability. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 20(6), 5687–5704.

[9] Siregar, A. P., & Mulyani, T. (2019). Pengaruh perlakuan fisik terhadap kestabilan protein dan ionisasi mineral pada susu sapi segar. Agrointek: Jurnal Teknologi Industri Pertanian, 13(2), 83–92.

[10] Suryaningsih, W., Supriono, Hariono, B., & Budiati, T. (2022). *Pengaruh Pasteurisasi Non-Thermal Metode UV dan Ozon Terhadap Sifat Mikrobiologi dan Organoleptik Susu Segar*. *Jurnal Ilmu Industri & Inovasi (JII)*, 22(2)

[11] Susilawati, L., Wulandari, S., & Purwanto, A. (2020). Aplikasi teknologi medan listrik pulsa untuk inaktivasi mikroba dalam bahan pangan cair. Jurnal Ilmu dan Teknologi Pangan Tropis, 15(3), 234–242.

[12] Timmermans, R. A. H., Mastwijk, H. C., Knol, J. J., Quataert, M. C. J., van der Plancken, I., & Matser, A. M. (2019). *Effect of pulsed electric fields on chemical and structural properties of milk components*. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 52, 66–73.

[13] Toepfl, S., Heinz, V., & Knorr, D. (2006). Applications of pulsed electric fields in the food industry. Journal of Food Engineering, 67(1–2), 141–152.

[14] Triardianto, Dimas., Annisa'u Choirun., Adhima Adhamatika, Yossi Wibisono, Surateno. 2024. Evaluasi Nilai Nutrisi, Cemaran Bakteri, dan Cemaran Logam Pada Susu Pasteurisasi Hasil Commisioning Teaching Factory Pengolahan Susu Politeknik Negeri Jember. Oryza: Jurnal Pendidikan Biologi. 13(1): 54-59 https://doi.org/10.33627/oz.v13i1.1493

[15] Yilmaz, N., Bozkurt, H., & Icier, F. (2021). *Effects of pulsed electric field processing on enzyme inactivation and physicochemical properties of milk and milk products*. *Food Chemistry*, 351, 129328.

[16] Yousefi, M., et al. (2019). Effect of pulsed electric field on physicochemical and sensory attributes of milk. Food Research International, 120, 620–629.