

Penerapan Teknologi Non-Termal untuk Meningkatkan Keamanan dan Umur Simpan Produk Susu: Tinjauan PEF, Cold Plasma, Ultrasound, dan UV-C

Application of Non-Thermal Technologies to Improve the Safety and Shelf Life of Dairy Products: A Review of PEF, Cold Plasma, Ultrasound, and UV-C

Nundiah Zuhrohfi Immaroh

¹Teknologi Pangan, Fakultas Teknologi dan Sains, Universitas PGRI Wiranegara

*Email Koresponden: nundiahzi@gmail.com

Received : 9 Desember 2024 | Accepted : 20 Januari 2025 | Published : 31 Januari 2025

Kata Kunci

Cold plasma, PEF, Susu, Ultrasound, UV-C.

Copyright (c) 2025 Authors
Nundiah Zuhrohfi Immaroh



This work is licensed under a
[Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/).

ABSTRAK

Produk susu merupakan salah satu komoditas pangan yang memiliki nilai gizi tinggi, tetapi sangat rentan terhadap kontaminasi mikroba dan degradasi kualitas selama penyimpanan. Teknologi pengolahan konvensional seperti pasteurisasi dan sterilisasi telah lama digunakan untuk meningkatkan keamanan dan umur simpan produk susu, tetapi metode ini sering menyebabkan perubahan pada karakteristik sensoris serta degradasi nutrisi. Sebagai alternatif, teknologi non-thermal seperti *Pulsed Electric Field* (PEF), *Cold Plasma*, *Ultrasound*, dan *Ultraviolet-C* (UV-C) telah dikembangkan untuk mengatasi permasalahan tersebut. Artikel ini merupakan tinjauan pustaka yang mengeksplorasi efektivitas penerapan teknologi non-thermal dalam meningkatkan keamanan dan stabilitas produk susu, termasuk susu segar, yoghurt, kefir, dan susu nabati. Hasil kajian menunjukkan bahwa PEF mampu menginaktivasi mikroorganisme patogen dan enzim pembusuk melalui mekanisme elektroporasi, tanpa menyebabkan perubahan signifikan pada komponen nutrisi susu. Cold Plasma menawarkan keunggulan dalam dekontaminasi mikroba dengan memanfaatkan plasma reaktif, yang efektif membunuh patogen tanpa merusak komponen susu. Sementara itu, teknologi Ultrasound dapat meningkatkan homogenitas, memperbaiki stabilitas emulsi, dan mengurangi jumlah mikroorganisme dengan efek kavitasi. UV-C, sebagai metode berbasis radiasi, terbukti mampu menghambat pertumbuhan mikroba dan menurunkan aktivitas enzim perusak tanpa memerlukan bahan tambahan kimia. Meskipun berbagai penelitian menunjukkan efektivitas teknologi non-thermal dalam menjaga kualitas susu, tantangan dalam penerapan skala industri masih menjadi

perhatian, terutama terkait efisiensi energi, biaya operasional, dan kompatibilitas dengan sistem produksi yang sudah ada. Oleh karena itu, kajian lebih lanjut diperlukan untuk mengoptimalkan kombinasi teknologi non-termal guna memperoleh hasil yang lebih maksimal dalam peningkatan keamanan dan umur simpan produk susu.

Keywords

Cold plasma, PEF, Milk, Ultrasound, UV-C.

ABSTRACT

Dairy products are highly nutritious commodities but are highly susceptible to microbial contamination and quality degradation during storage. Conventional processing technologies such as pasteurization and sterilization have long been employed to enhance the safety and shelf life of dairy products; however, these methods often lead to changes in sensory characteristics and nutrient degradation. As an alternative, non-thermal technologies such as Pulsed Electric Field (PEF), Cold Plasma, Ultrasound, and Ultraviolet-C (UV-C) have been developed to address these challenges. This literature review explores the effectiveness of non-thermal technologies in improving the safety and stability of dairy products, including fresh milk, yogurt, kefir, and plant-based milk. Findings from the review indicate that PEF effectively inactivates pathogenic microorganisms and spoilage enzymes through electroporation mechanisms without significantly altering the nutritional components of milk. Cold Plasma offers advantages in microbial decontamination by utilizing reactive plasma, which efficiently eliminates pathogens without compromising milk quality. Meanwhile, Ultrasound technology improves homogenization, enhances emulsion stability, and reduces microbial load through cavitation effects. UV-C, as a radiation-based method, has been proven to inhibit microbial growth and decrease the activity of spoilage enzymes without the need for additional chemical preservatives. Although various studies have demonstrated the effectiveness of non-thermal technologies in preserving milk quality, challenges remain in their industrial-scale application, particularly regarding energy efficiency, operational costs, and compatibility with existing production systems. Further research is needed to optimize the combination of non-thermal technologies to maximize their potential in enhancing the safety and shelf life of dairy products.

1. PENDAHULUAN

Industri pangan terus berupaya meningkatkan keamanan dan memperpanjang umur simpan produk susu tanpa mengorbankan kualitas nutrisi dan sensoris. Metode pengolahan termal tradisional, seperti pasteurisasi dan sterilisasi, meskipun efektif dalam menonaktifkan mikroorganisme patogen, sering kali menyebabkan degradasi nutrisi dan perubahan sifat organoleptik pada produk susu. Sebagai alternatif, teknologi non-termal seperti *Pulsed Electric*

Field (PEF), *Cold Plasma*, *Ultrasound*, dan radiasi UV-C telah muncul sebagai solusi inovatif yang menawarkan pengolahan minimal dengan tetap memastikan keamanan dan kualitas produk susu. Pengolahan termal pada produk susu dapat menyebabkan penurunan kualitas nutrisi, seperti denaturasi protein, degradasi vitamin, dan perubahan rasa serta tekstur. Selain itu, konsumen modern semakin mencari produk dengan pengolahan minimal yang tetap aman dan memiliki umur simpan yang panjang. Maka dari itu, diperlukan metode alternatif yang mampu menonaktifkan mikroorganisme patogen tanpa merusak komponen nutrisi dan sensoris produk susu.

Penerapan teknologi non-termal dalam pengolahan produk susu menawarkan pendekatan baru yang berbeda dari metode termal tradisional. Keunggulan utama dari teknologi ini adalah kemampuannya untuk menonaktifkan mikroorganisme patogen tanpa menyebabkan kerusakan pada komponen nutrisi dan sensoris produk. Selain itu, teknologi non-termal cenderung lebih efisien dalam penggunaan energi dan dapat diintegrasikan ke dalam proses produksi yang ada dengan modifikasi minimal. Penelitian terbaru oleh Fernando Alba-Elías et al. (2023) menegaskan bahwa teknologi non-termal seperti PEF, ultrasound, dan plasma dingin memberikan manfaat yang signifikan dalam meningkatkan keamanan dan kualitas produk susu tanpa efek samping yang merugikan.

Artikel ini bertujuan untuk meninjau penerapan teknologi non-termal, khususnya PEF, cold plasma, *ultrasound*, dan UV-C, dalam meningkatkan keamanan dan umur simpan produk susu. Dengan memahami mekanisme kerja, efektivitas, dan dampak dari setiap teknologi, diharapkan dapat memberikan wawasan bagi industri pangan dalam memilih dan mengimplementasikan metode pengolahan yang optimal.

2. METODE

Penyusunan artikel ini dilakukan dengan metode studi literatur, di mana data yang digunakan merupakan data sekunder yang diperoleh dari penelitian terdahulu. Sumber informasi mencakup buku dan jurnal ilmiah yang relevan, yang dikumpulkan melalui Google Scholar (Fajriani et al., 2024). Studi literatur yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari publikasi dalam rentang waktu 2015 hingga 2025. Kriteria jurnal yang dipilih mencakup penelitian mengenai susu, produk olahan susu, serta penerapan teknologi non-termal dalam meningkatkan keamanan dan umur simpan produk susu.

Analisis artikel dilakukan dengan metode *Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses* (PRISMA), yang terdiri dari empat tahapan utama: identifikasi, penyaringan, penentuan kelayakan, dan analisis akhir (Fajriani et al., 2024). Pencarian artikel dilakukan melalui Google Scholar dengan menggunakan kata kunci "susu," "produk olahan susu," "teknologi non-termal," "PEF," "*Ultrasound*," "UV-C," dan "*Cold Plasma*" guna memastikan relevansi dengan topik penelitian yang dibahas.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Susu

Susu merupakan sumber pangan esensial yang mengandung makronutrien dan mikronutrien penting bagi pertumbuhan dan kesehatan manusia. Kandungan utama susu meliputi karbohidrat (laktosa), lemak, protein, vitamin, dan mineral yang berperan dalam berbagai fungsi biologis (Goulding et al., 2019). Protein susu terbagi menjadi dua kelompok utama: kasein (80%) dan

protein whey (20%). Kasein membentuk misel kasein, yang berperan dalam stabilitas susu dan proses pembentukan keju (Huppertz et al., 2017). Kasein, yang membentuk sekitar 80% dari total protein susu, berperan penting dalam pembentukan struktur dan tekstur produk olahan susu. Kasein terdapat dalam bentuk misel, yang stabil karena interaksi dengan kalsium fosfat koloid. Stabilitas misel kasein ini mempengaruhi sifat emulsi dan tekstur produk susu, seperti yoghurt dan keju ((Septiani et al., 2023)

Protein whey, yang menyusun sekitar 20% dari total protein susu, terdiri dari berbagai protein seperti β -laktoglobulin, α -laktalbumin, serum albumin, laktoferin, dan imunoglobulin. Protein whey memiliki nilai nutrisi tinggi dan berperan dalam meningkatkan sistem imun serta memiliki sifat fungsional yang penting dalam industri pangan, seperti kemampuan membentuk gel dan busa (Maharani et al., 2020). Selain nutrisi utama, susu juga mengandung komponen bioaktif yang memberikan manfaat kesehatan tambahan. Misalnya, peptida bioaktif yang dihasilkan dari hidrolisis protein susu memiliki berbagai aktivitas biologis, termasuk sifat antihipertensi, antimikroba, dan imunomodulator. Laktoferin, seperti yang disebutkan sebelumnya, memiliki sifat antimikroba dan dapat mendukung sistem kekebalan tubuh ((Suciati & Safitri, 2021).

3.2 Produk olahan susu

3.2.1 Yoghurt

Yoghurt merupakan salah satu produk fermentasi susu yang dihasilkan melalui aktivitas bakteri asam laktat, terutama *Lactobacillus bulgaricus* dan *Streptococcus thermophilus*. Proses fermentasi yang terjadi yaitu terjadi perubahan laktosa menjadi asam laktat, yang berperan dalam pembentukan tekstur dan cita rasayang khas yoghurt. Yoghurt, mengandung berbagai komponen nutrisi penting bagi kesehatan seperti protein, lemak, karbohidrat, vitamin, dan mineral.

Komponen utama yoghurt meliputi protein, lemak, dan karbohidrat. Protein dalam yoghurt berasal dari susu yang digunakan sebagai bahan baku, dengan kandungan utama berupa kasein dan whey. Selama fermentasi, protein mengalami denaturasi dan koagulasi, membentuk struktur gel yang memberikan tekstur kental pada yoghurt. Lemak dalam yoghurt berkontribusi pada rasa dan kekayaan tekstur, sementara karbohidrat, terutama laktosa, diubah menjadi asam laktat oleh bakteri starter, menurunkan pH dan memberikan rasa asam yang khas.

Selain komponen nutrisi, yoghurt juga mengandung mikroorganisme hidup yang dikenal sebagai probiotik. Penambahan bakteri probiotik seperti *Lactobacillus acidophilus* dan *Bifidobacterium* sp. dapat meningkatkan manfaat kesehatan yoghurt, termasuk memperbaiki keseimbangan mikroflora usus dan meningkatkan sistem kekebalan tubuh. Penelitian oleh (Nurdini et al., 2023) menunjukkan bahwa penggunaan starter probiotik dapat mempengaruhi kualitas mikrobiologis dan organoleptik yoghurt.

3.2.2 Kefir

Kefir merupakan salah satu produk susu fermentasi yang dihasilkan melalui aktivitas simbiotik antara bakteri asam laktat dan khamir. Proses fermentasi ini menghasilkan minuman dengan tekstur kental dan cita rasa asam yang khas. Kefir telah lama dikenal memiliki berbagai manfaat kesehatan, termasuk sifat probiotik yang mendukung kesehatan saluran pencernaan. Kefir mengandung beragam nutrisi esensial yang bermanfaat bagi kesehatan. Sumber protein dalam

kefir terdiri dari asam amino esensial yang diperlukan oleh tubuh. Selain itu, kefir juga kaya akan berbagai vitamin, termasuk vitamin A, B1, B2, B5, B6, B7, B9, B12, C, dan K, serta mineral penting seperti kalsium, fosfor, magnesium, dan seng. Dalam 200 ml kefir susu kambing, terkandung sekitar 7,18 gram protein, 4,04 gram lemak, 456 mg kalsium, 4,96 mg besi, dan 0,26 mikrogram vitamin B12, menjadikannya sumber nutrisi yang baik untuk mendukung kesehatan tubuh. (Of, 2020)(Hardiansyah 2020)

3.2.3 *Susu nabati*

Susu nabati merupakan alternatif pengganti susu hewani, terutama oleh konsumen yang mempertimbangkan aspek kesehatan, etika, dan lingkungan. Beberapa jenis susu nabati yang umum di pasaran meliputi susu kedelai, susu almond, dan susu oat. Susu kedelai, susu almond, dan susu oat mengandung setidaknya setengah lemak dari susu sapi. Susu almond mengandung kalsium paling banyak dari susu yang disurvei. Jumlah folat dan vitamin B12 paling menurun dalam susu kambing dan susu almond, sedangkan susu kedelai memiliki hampir dua kali lipat jumlah folat dan vitamin B12 yang ada dalam susu sapi (Collard & McCormick, 2021). Susu kedelai mengandung gizi dalam 100 ml produk menunjukkan kadar protein sebesar 3,61%, lemak 2,54%, serta pH 6,69. Selain itu, kadar cemaran logam tercatat dalam batas aman, dengan timbal $\leq 0,01$ mg/L, tembaga 0,98 mg/L, seng 4,07 mg/L, timah $\leq 0,01$ mg/L, dan merkuri $\leq 0,01$ mg/L. Dari aspek keamanan mikrobiologis, produk ini tidak terdeteksi mengandung Salmonella, dengan total kapang sebesar 1,3 CFU/ml dan Escherichia coli sebanyak 2 APM/ml. Substitusi dengan mikroalga meningkatkan kadar protein sebesar 0,33%. (Fathurohman et al., 2020) Susu almond, di sisi lain, mengandung lemak tak jenuh yang cukup tinggi dan rendah kalori. Studi oleh (Sentana et al., 2017) menunjukkan bahwa susu almond memiliki viskositas yang hampir sebanding dengan susu hewani, tergantung pada kandungan lemak di dalamnya. Selain itu, susu almond kaya akan vitamin E, yang berfungsi sebagai antioksidan dan mendukung kesehatan kulit.

3.3 **Teknologi non-termal dalam produk susu**

3.3.1 *Ultrasound processing*

Dalam industri makanan, ultrasonografi daya umumnya digunakan dengan frekuensi antara 20 dan 100 kHz untuk mendapatkan "efek kavitasi" (Chen et al., 2020). Molekul-molekul dikompresi dan dijernihkan ketika ultrasonografi disebarkan melalui media apa pun. Perubahan tekanan alternatif menyebabkan pembentukan gelembung dalam media cair. Terdapat efek fisik dan kimia yang berhubungan dengan USG: agitasi, getaran, tekanan, gelombang kejut, gaya geser, mikrojet, kompresi dan penghalusan, aliran akustik, kavitasi, dan pembentukan radikal bebas (Ojha et al., 2018). Kavitasi yang dihasilkan oleh ultrasonik menyebabkan kerusakan pada dinding sel dan membran mikroorganisme melalui tekanan mekanis dan pembentukan radikal bebas. Li et al. (2023) melaporkan bahwa gelombang ultrasonik dengan frekuensi antara 20 hingga 100 kHz efektif dalam mendetoksifikasi mikroorganisme patogen dalam produk pangan, termasuk susu, dengan merusak membran sel dan mengoksidasi komponen intraseluler seperti asam amino dan DNA. Selain itu, (Bhargava et al., 2021) menyatakan bahwa ultrasonik dapat menyebabkan inaktivasi mikroba dengan merusak membran sel, menghasilkan radikal bebas, dan menyebabkan kerusakan DNA, yang semuanya berkontribusi pada pengurangan populasi mikroba dalam produk susu.

Salah satu keuntungan utama dari pemrosesan ultrasonik adalah kemampuannya untuk mempertahankan komponen nutrisi dalam susu. Karena proses ini tidak melibatkan pemanasan, risiko degradasi nutrisi yang sensitif terhadap panas, seperti protein dan vitamin, dapat diminimalkan. (Bhargava et al., 2021) melaporkan bahwa ultrasonik adalah teknologi efisien yang memungkinkan retensi nutrisi, meningkatkan umur simpan, dan menghasilkan produk susu berkualitas lebih baik tanpa mempengaruhi profil nutrisi dan sifat sensoris. Selain itu, (Ramteke et al., 2021), menyatakan bahwa thermosonication, kombinasi ultrasonik dan perlakuan panas moderat, dapat meningkatkan umur simpan produk susu tanpa mengubah komposisi nutrisi dan atribut organoleptik, menunjukkan bahwa ultrasonik dapat digunakan untuk mempertahankan kualitas nutrisi susu. Dengan efektifnya inaktivasi mikroorganisme patogen dan minimalnya dampak pada komponen nutrisi, pemrosesan ultrasonik berpotensi signifikan dalam memperpanjang umur simpan produk susu. (Bhargava et al., 2021) menyatakan bahwa ultrasonik dapat meningkatkan keamanan pangan dan umur simpan dengan memodifikasi protein dan lemak susu tanpa mempengaruhi profil nutrisi dan sifat sensoris, yang berkontribusi pada perpanjangan umur simpan produk susu.

3.3.2 UV-C

Radiasi ultraviolet gelombang pendek (UVC) adalah teknologi non-termal yang diusulkan sebagai alternatif pasteurisasi panas yang sedang diselidiki saat ini untuk pengurangan mikroorganisme dalam makanan cair yang dapat menyebabkan pembusukan dan potensi risiko kesehatan bagi konsumen (Gouma et al., 2015). Aplikasi UVC menggunakan reaktor memungkinkan pemrosesan makanan cair dalam rezim kontinyu yang meningkatkan minat pada teknologi ini karena mudah digunakan, memiliki biaya lebih rendah dan menawarkan pengawetan kandungan nutrisi dan aspek kualitas makanan yang lebih baik (Crook et al., 2015). UVC mematikan bagi sebagian besar mikroorganisme melalui pembentukan dimer pirimidin yang menghalangi duplikasi DNA yang menyebabkan kematian sel. Selain itu, tidak seperti teknologi baru non-termal lainnya, UVC mampu menonaktifkan spora bakteri (Martinez-Garcia et al., 2019). Efek mikrobiosidal UVC telah diuji pada berbagai bahan makanan, seperti susu, menunjukkan efektivitas yang mirip dengan pasteurisasi termal (Yin et al., 2015) Namun, susu menyajikan faktor pembatas koefisien penyerapannya yang tinggi pada 254 nm ($\alpha(254)$) yang mengurangi kemungkinan radiasi UVC untuk menembus matriks dan mencapai area yang lebih jauh dari sumber UVC dengan intensitas yang sama, sehingga kurang mengekspos beberapa mikroorganisme yang ada, dan akibatnya, mengurangi efektivitas pengobatan UVC.

3.3.3 PEF

Pulsed Electric Fields (PEF) bekerja dengan menerapkan medan listrik berintensitas tinggi dalam rentang 20–80 kV/cm dengan durasi pulsa dan waktu perlakuan kurang dari satu detik. Efektivitas teknologi ini dipengaruhi oleh dua faktor utama, yaitu parameter perangkat (seperti jenis gelombang, intensitas medan listrik, lebar pulsa, dan frekuensi) serta karakteristik makanan yang diproses (termasuk konduktivitas dan nilai pH). PEF menggunakan medan listrik berdenyut tinggi (biasanya <math><50\text{ kV/cm}</math>) selama waktu singkat (nanodetik hingga milidetik). Medan listrik ini menyebabkan elektroporasi, yaitu terbentuknya pori-pori pada membran sel mikroorganisme yang meningkatkan permeabilitas dan akhirnya menyebabkan kematian sel. Efektivitas PEF dalam inaktivasi mikroba tergantung pada beberapa faktor, termasuk intensitas

medan listrik, waktu perlakuan, dan karakteristik mikroorganisme yang ditargetkan (Soltanzadeh et al., 2022). Beberapa penelitian menunjukkan bahwa PEF mampu mengurangi populasi mikroba dalam susu hingga 3 log₁₀ cycles, namun masih memiliki keterbatasan dalam menginaktivasi enzim endogen dan mikroba tertentu. Kombinasi PEF dengan pemanasan ringan (mild heating) terbukti lebih efektif, dengan tingkat reduksi mikroba mencapai 3–6 Log₁₀ cycles. PEF tidak menyebabkan perubahan signifikan pada struktur protein, globula lemak susu, dan kandungan vitamin, terutama dibandingkan dengan metode pemanasan konvensional. Enzim seperti plasmin dan lactoperoxidase yang berkaitan dengan kualitas dan keamanan susu tetap terjaga setelah perlakuan PEF. Namun, kombinasi PEF dengan mild heating mampu mengurangi aktivitas enzim yang berkontribusi terhadap kerusakan susu. PEF telah digunakan secara komersial untuk memperpanjang umur simpan susu segar, dengan beberapa penelitian menunjukkan bahwa susu yang diolah dengan PEF dapat bertahan hingga 20 hari pada suhu 4°C tanpa mengalami penurunan kualitas yang signifikan (Alirezalu et al., 2020)

3.3.4 Cold Plasma

Teknologi plasma dingin telah muncul sebagai metode non-termal inovatif dalam pengolahan produk susu, termasuk yoghurt, kefir, susu nabati, dan susu segar. Teknologi ini menawarkan potensi untuk meningkatkan keamanan pangan, mempertahankan nilai nutrisi, dan memperpanjang umur simpan produk tanpa memerlukan pemanasan yang dapat merusak kualitas produk. Plasma dingin (Cold Plasma/CP) adalah gas yang mengalami ionisasi sebagian atau keseluruhan, sehingga mengandung berbagai partikel bermuatan seperti elektron, ion positif dan negatif, serta radikal bebas. Selain itu, plasma dingin juga mengandung atom yang berada dalam keadaan tereksitasi dan foton. Teknologi ini beroperasi pada suhu ruang dan dapat diterapkan dalam kondisi tekanan atmosfer normal maupun tekanan rendah (vakum).

Plasma dingin dihasilkan melalui ionisasi gas pada tekanan atmosfer, menghasilkan campuran partikel bermuatan, radikal bebas, dan spesies reaktif oksigen dan nitrogen. Komponen-komponen ini berinteraksi dengan membran sel mikroorganisme, menyebabkan kerusakan oksidatif yang mengarah pada peningkatan permeabilitas membran dan akhirnya kematian sel. Studi oleh (Pankaj et al., 2018) menunjukkan bahwa plasma dingin efektif dalam menonaktifkan patogen seperti *Escherichia coli*, *Salmonella typhimurium*, dan *Listeria monocytogenes* pada berbagai produk pangan.

Dalam konteks produk susu, penelitian oleh Nikmaram dan Keener (2021) menemukan bahwa perlakuan plasma dingin pada susu segar mampu mengurangi populasi bakteri secara signifikan tanpa mempengaruhi kualitas sensoris produk. Selain itu, Campo et al. (2006) dan Aguilar Uscanga et al. (2022) melaporkan bahwa aplikasi plasma dingin pada keju Adobera berhasil menurunkan jumlah *Escherichia coli*, *Salmonella*, dan *Staphylococcus aureus* hingga lima siklus logaritmik.

Salah satu keuntungan utama dari teknologi plasma dingin adalah kemampuannya untuk mempertahankan komponen nutrisi dalam produk susu. Karena proses ini berlangsung pada suhu rendah, risiko denaturasi protein, kehilangan vitamin, dan perubahan asam lemak dapat diminimalkan. (Rathod et al., 2021) menyatakan bahwa plasma dingin mampu menonaktifkan enzim yang menyebabkan reaksi pencoklatan dan pembentukan off-flavor tanpa mempengaruhi nilai gizi produk susu. Aplikasi plasma dingin telah terbukti efektif dalam memperpanjang

umur simpan produk susu dengan menghambat pertumbuhan mikroorganisme pembusuk. Studi oleh (Pankaj et al., 2018) menunjukkan bahwa perlakuan plasma dingin dapat memperpanjang umur simpan produk susu tanpa menyebabkan perubahan signifikan pada atribut fisik dan kimia. Selain itu, (Bagheri & Abbaszadeh, 2020) melaporkan bahwa plasma dingin efektif dalam menghambat pertumbuhan mikroba pada produk segar yang dipotong, yang menunjukkan potensinya dalam aplikasi pada produk susu segar dan olahan

3.4 Efektivitas teknologi non-termal

Efektivitas teknologi non-termal (*Pulsed Electric Field (PEF)*, *UV-C*, dan *Cold Plasma*) pada berbagai produk olahan susu seperti yoghurt, kefir, dan susu segar ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Efektivitas metode non termal pada produk susu

Nama Produk	Metode Non-Termal	Efektivitas	Sumber
Susu Segar	PEF	PEF efektif dalam mengurangi populasi mikroba dalam susu hingga 3 log ₁₀ cycles tanpa menyebabkan perubahan signifikan pada struktur protein dan kandungan vitamin.	"Pulsed Electric Field and Mild Heating for Milk Processing: A Review on Recent Advances" - Kazem Alirezalu et al., 2019
Yoghurt	UV-C	Kombinasi UV-C dan HPP efektif dalam memastikan keamanan jus nanas "Nanglae" sambil mempertahankan senyawa bioaktif, menunjukkan potensi aplikasi pada produk susu seperti yoghurt.	"Combined UV-C and High-Pressure Processing for Shelf-Life Extension of 'Nanglae' Pineapple Juice" - Suthiluk et al., 2023
Kefir	Cold Plasma	Plasma dingin efektif untuk inaktivasi berbagai patogen dan organisme pembusuk tanpa mempengaruhi kualitas makanan, menunjukkan potensi aplikasi pada kefir.	"Cold Plasma Applications in Food Processing and Preservation" - Jesicca Ananty Nurul Setiadi, 2023

Efektivitas teknologi non-termal dalam pengolahan produk susu dipengaruhi oleh berbagai faktor yang saling berkaitan. Pemahaman mendalam mengenai faktor-faktor ini penting untuk mengoptimalkan proses dan memastikan kualitas produk akhir. Beberapa faktor utama yang mempengaruhi efektivitas teknologi non-termal antara lain:

1. Parameter Proses

Setiap teknologi non-termal memiliki parameter spesifik yang menentukan efektivitasnya. Dalam aplikasi Pulsed Electric Field (PEF), misalnya, intensitas medan listrik, durasi pulsa, dan suhu memainkan peran krusial. Penelitian oleh Alirezalu et al. (2019) menunjukkan bahwa kombinasi medan listrik tinggi dengan durasi pulsa yang tepat dapat secara signifikan mengurangi populasi mikroba dalam susu tanpa merusak komponen nutrisi. Demikian pula, dalam penggunaan sinar UV-C, panjang gelombang dan dosis radiasi harus diatur dengan cermat untuk memastikan inaktivasi

mikroorganisme yang efektif tanpa mempengaruhi kualitas sensoris produk (Suthiluk et al., 2023).

2. Karakteristik Produk

Komposisi dan sifat fisikokimia produk susu, seperti kandungan lemak, protein, dan viskositas, dapat mempengaruhi penetrasi dan efektivitas teknologi non-termal. (Ananty & Setiadi, 2023) menyoroti bahwa dalam aplikasi plasma dingin, distribusi spesies reaktif dalam matriks makanan dapat dipengaruhi oleh struktur dan komposisi produk, yang pada gilirannya mempengaruhi efisiensi inaktivasi mikroba.

3. Jenis dan Beban Mikroba

Keberagaman mikroorganisme dalam produk susu, termasuk bakteri patogen dan pembusuk, memerlukan pendekatan yang berbeda dalam pengolahan non-termal. Kayaardi et al. (2023) menemukan bahwa efektivitas ultrasound dalam menginaktivasi mikroba tergantung pada jenis mikroorganisme dan tahap pertumbuhannya. Mikroba dengan struktur sel yang lebih kompleks atau yang berada dalam fase stasioner mungkin lebih resisten terhadap perlakuan non-termal tertentu.

4. Kondisi Lingkungan

Faktor lingkungan seperti suhu dan pH selama proses pengolahan dapat mempengaruhi kinerja teknologi non-termal. (Shapira et al., 2024) menunjukkan bahwa aplikasi plasma dingin pada susu sapi segar pada suhu ambient efektif dalam menurunkan jumlah mikroba tanpa mengubah sifat organoleptik. Namun, perubahan pH dapat mempengaruhi stabilitas spesies reaktif yang dihasilkan selama perlakuan, sehingga mempengaruhi efisiensi proses.

5. Desain dan Konfigurasi Peralatan

Desain peralatan, termasuk konfigurasi elektroda dalam sistem PEF atau desain reaktor dalam aplikasi plasma dingin, dapat mempengaruhi distribusi medan dan, oleh karena itu, efektivitas proses. (Andriawan & Susilo, 2015) menekankan pentingnya desain alat yang tepat untuk memastikan distribusi medan listrik yang seragam dan menghindari area yang kurang terpapar, yang dapat menjadi titik pertumbuhan mikroba.

6. Interaksi dengan Komponen Makanan

Komponen tertentu dalam susu, seperti lemak dan protein, dapat berinteraksi dengan agen pengolahan non-termal, mengurangi efektivitasnya. Misalnya, dalam aplikasi UV-C, partikel lemak dapat menyerap atau menghamburkan sinar UV, mengurangi dosis efektif yang mencapai mikroorganisme target (Suthiluk et al., 2023). Demikian pula, protein dapat berinteraksi dengan spesies reaktif yang dihasilkan selama perlakuan plasma dingin, mengurangi ketersediaan spesies tersebut untuk inaktivasi mikroba ((Ananty & Setiadi, 2023).

3.5 Manfaat teknologi non termal produk olahan susu

Penerapan teknologi non-termal dalam pengolahan produk susu, seperti Pulsed Electric Field (PEF), UV-C, Ultrasound, dan Plasma, menawarkan berbagai manfaat signifikan yang berkontribusi pada peningkatan efisiensi produksi, keberlanjutan lingkungan, dan peningkatan daya saing produk. Beberapa manfaat utama dari teknologi ini antara lain:

1. Meningkatkan Efisiensi Produksi

Teknologi non-termal memungkinkan inaktivasi mikroorganisme patogen pada suhu rendah, sehingga mengurangi kebutuhan energi yang biasanya diperlukan dalam proses pemanasan tradisional. Sebagai contoh, PEF efektif dalam menonaktifkan mikroba tanpa mempengaruhi kualitas nutrisi dan sensoris produk susu, yang pada gilirannya meningkatkan efisiensi energi dalam proses produksi. Demikian pula, Ultrasound telah digunakan untuk meningkatkan homogenisasi susu, yang dapat meningkatkan efisiensi proses produksi. Selain itu, Teknologi Plasma telah diteliti sebagai metode pasteurisasi non-termal yang dapat menjaga kandungan nutrisi pada susu, sehingga meningkatkan efisiensi produksi dengan mengurangi kebutuhan pemanasan.

2. Ramah Lingkungan

Penggunaan teknologi non-termal dalam pengolahan susu berkontribusi pada praktik produksi yang lebih ramah lingkungan. Dengan mengurangi konsumsi energi dan emisi gas rumah kaca yang terkait dengan proses pemanasan, teknologi ini mendukung inisiatif keberlanjutan dalam industri pangan. Selain itu, beberapa teknologi non-termal, seperti Teknologi Plasma, tidak menghasilkan limbah berbahaya, sehingga mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan. Implementasi teknologi ini sejalan dengan upaya global untuk mencapai produksi pangan yang lebih hijau dan berkelanjutan.

3. Meningkatkan Daya Saing Produk

Produk susu yang diproses dengan teknologi non-termal cenderung memiliki kualitas sensoris dan nutrisi yang lebih baik dibandingkan dengan produk yang diproses secara termal. Konsumen modern semakin mencari produk yang tidak hanya aman tetapi juga memiliki nilai gizi tinggi dan diproses secara minimal. Dengan mempertahankan rasa, tekstur, dan kandungan nutrisi asli, produk susu yang diproses secara non-termal dapat memenuhi preferensi konsumen ini, sehingga meningkatkan daya saing di pasar. Selain itu, label "diproses secara minimal" atau "tanpa pengawet tambahan" dapat menjadi nilai jual tambahan yang menarik bagi konsumen yang sadar kesehatan.

Secara keseluruhan, adopsi teknologi non-termal dalam pengolahan produk susu menawarkan keuntungan yang signifikan dalam hal efisiensi produksi, keberlanjutan lingkungan, dan peningkatan daya saing produk. Namun, implementasi teknologi ini memerlukan investasi awal yang signifikan dan penyesuaian dalam proses produksi. Kegiatan evaluasi akan dilaksanakan secara cermat dan penelitian lebih lanjut untuk memastikan bahwa manfaat yang diperoleh sepadan dengan biaya dan upaya yang dikeluarkan.

4. KESIMPULAN

Teknologi non-termal seperti *Pulsed Electric Field (PEF)*, *Cold Plasma*, *Ultrasound*, dan *UV-C* telah terbukti efektif dalam meningkatkan keamanan dan umur simpan produk susu, termasuk yoghurt, kefir, susu nabati, dan susu segar. Metode-metode ini bekerja dengan menginaktivasi mikroorganisme patogen melalui mekanisme seperti elektroporasi, oksidasi, dan gelombang ultrasonik tanpa merusak struktur nutrisi utama. PEF dan UV-C menunjukkan efektivitas tinggi dalam mengurangi kontaminasi mikroba tanpa mengubah sifat sensoris, sementara *Cold Plasma* dan *Ultrasound* mampu mempertahankan komponen bioaktif yang bermanfaat bagi kesehatan. Selain itu, teknologi ini juga berkontribusi terhadap keberlanjutan lingkungan

dengan mengurangi kebutuhan energi dibandingkan proses termal konvensional. Meskipun demikian, tantangan seperti optimasi parameter proses, biaya investasi, dan penerimaan konsumen masih perlu diteliti lebih lanjut untuk implementasi skala industri. Secara keseluruhan, teknologi non-termal menawarkan solusi inovatif dalam industri produk susu, memungkinkan peningkatan keamanan pangan, perpanjangan umur simpan, dan pemeliharaan kualitas nutrisi tanpa efek negatif yang signifikan, sehingga berpotensi menjadi alternatif unggulan bagi industri pengolahan susu di masa depan.

DAFTAR PUSTAKA

- Alirezalu, K., Munekata, P. E. S., Parniakov, O., Barba, F. J., Witt, J., Toepfl, S., Wiktor, A., & Lorenzo, J. M. (2020). Pulsed electric field and mild heating for milk processing: a review on recent advances. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, *100*(1), 16–24. <https://doi.org/10.1002/jsfa.9942>
- Ananty, J., & Setiadi, N. (2023). *Artikel Review: Potensial Teknologi Plasma Dingin Dalam Industri Makanan*. *7*(2), 65–68. www.ejournal-s1.undip.ac.id/index.php/tekpangan.
- Andriawan, V., & Susilo, B. (2015). “ Susu Listrik ” Alat Pasteurisasi Susu Kejut Listrik Tegangan Tinggi (Pulsed Electric Field) Menggunakan Transformator “ Electric Milking ” the High Voltage -Electric Shock (Pulsed Electric Field) For Milk Pasteurization Device Using High Voltage Tra. *J. Keteknikan Pertanian Tropis Dan Biosistem*, *3*(2), 199–210.
- Bagheri, H., & Abbaszadeh, S. (2020). Effect of Cold Plasma on Quality Retention of Fresh-Cut Produce. *Journal of Food Quality*, *2020*. <https://doi.org/10.1155/2020/8866369>
- Bhargava, N., Mor, R. S., Kumar, K., & Sharanagat, V. S. (2021). Advances in application of ultrasound in food processing: A review. *Ultrasonics Sonochemistry*, *70*(July 2020), 105293. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2020.105293>
- Campo, M. M., Nute, G. R., Hughes, S. I., Enser, M., Wood, J. D., & Richardson, R. I. (2006). Flavour perception of oxidation in beef. *Meat Science*, *72*(2), 303–311. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2005.07.015>
- Chen, F., Zhang, M., & Yang, C. hui. (2020). Application of ultrasound technology in processing of ready-to-eat fresh food: A review. *Ultrasonics Sonochemistry*, *63*(September 2019), 104953. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2019.104953>
- Collard, K. M., & McCormick, D. P. (2021). A Nutritional Comparison of Cow’s Milk and Alternative Milk Products. *Academic Pediatrics*, *21*(6), 1067–1069. <https://doi.org/10.1016/j.acap.2020.12.007>
- Crook, J. A., Rossitto, P. V., Parko, J., Koutchma, T., & Cullor, J. S. (2015). Efficacy of ultraviolet (uv-c) light in a thin-film turbulent flow for the reduction of milkborne pathogens. *Foodborne Pathogens and Disease*, *12*(6), 506–513. <https://doi.org/10.1089/fpd.2014.1843>
- Fajriani, L. N., Anisah, A., & Isasih, W. D. (2024). Review: Potensi Susu Kuda dan Produk Turunannya sebagai Pangan Fungsional serta Potensi dibidang Kesehatan. *Jurnal Teknologi Dan Mutu Pangan*, *3*(1), 11–21. <https://doi.org/10.30812/jtmp.v3i1.4097>
- Fathurohman, M., Aprillia, A. Y., Pratita, A. T. K., & Tenderly, V. F. (2020). Diversifikasi Produksi Susu Kedelai Berbasis Mikroalga Autotrofik Guna Meningkatkan Indeks Nutrasetikal. *Jurnal Aplikasi Teknologi Pangan*, *9*(2), 70–76. <https://doi.org/10.17728/jatp.6150>

- Goulding, D. A., Fox, P. F., & O'Mahony, J. A. (2019). Milk proteins: An overview. In *Milk Proteins: From Expression to Food*. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815251-5.00002-5>
- Gouma, M., Gayán, E., Raso, J., Condón, S., & Álvarez, I. (2015). UV-Heat Treatments for the Control of Foodborne Microbial Pathogens in Chicken Broth. *BioMed Research International*, 2015. <https://doi.org/10.1155/2015/436030>
- Huppertz, T., Fox, P. F., & Kelly, A. L. (2017). The caseins: Structure, stability, and functionality. In *Proteins in Food Processing, Second Edition* (Second Edition). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100722-8.00004-8>
- Maharani, Sudarwanto, M. B., Soviana, S., & Pisetyani, H. (2020). Inspection of Milk Quality from Milk Shops in The Student Settlement Areas of. *Jurnal Kajian Veteriner*, 8(1), 24–33.
- Martinez-Garcia, M., Saucedo-Gálvez, J. N., Codina-Torrella, I., Hernández-Herrero, M. M., Gervilla, R., & Roig-Sagués, A. X. (2019). Evaluation of Continuous UVC Treatments and its Combination with UHPH on Spores of *Bacillus subtilis* in Whole and Skim Milk. *Foods*, 8(11), 10–22. <https://doi.org/10.3390/foods8110539>
- Nurdini, D., Herawati, E., & Nurhayatin, T. (2023). PENGARUH DOSIS STARTER TERHADAP NILAI pH DAN TINGKAT KESUKAAN PADA YOGHURT SUSU SAPI (Effect of Starter Dose on pH Value and Level of Preference in Cow ' s Milk Yogurt). *Jurnal Ilmu Peternakan*, 8(1), 9–17. www.journal.uniga.ac.id
- Of, O. (2020). *Hardiasnyah*.
- Ojha, K. S., Tiwari, B. K., & O'Donnell, C. P. (2018). Effect of Ultrasound Technology on Food and Nutritional Quality. *Advances in Food and Nutrition Research*, 84, 207–240. <https://doi.org/10.1016/bs.afnr.2018.01.001>
- Pankaj, S. K., Wan, Z., & Keener, K. M. (2018). Effects of cold plasma on food quality: A review. *Foods*, 7(1). <https://doi.org/10.3390/foods7010004>
- Rathod, N. B., Kahar, S. P., Ranveer, R. C., & Annapure, U. S. (2021). Cold plasma an emerging nonthermal technology for milk and milk products: A review. *International Journal of Dairy Technology*, 74(4), 615–626. <https://doi.org/10.1111/1471-0307.12771>
- sachin P, R., Desale., R. J., Kankhare3, D. H., & Fulpagare, Y. G. (2021). Thermosonication Technology in the Dairy Industry: A Review. *Int. J. Adv. Res. Biol. Sci*, 7(1), 82–89. <https://doi.org/10.22192/ijarbs>
- Sentana, A., Trisnawati, C. Y., Astadi, R., & Jati, P. (2017). *Identifikasi Sifat Fisikokimia Dan Organoleptik Susu Nabati Yang Diformulasikan Dengan Linear Programming*. *Jurnal Teknologi Pangan dan Gizi (Journal of Food Technology and Nutrition) Vol 16 (2): 47-51, 2017*. 47–51.
- Septiani, S., Christi, R. F., & Pratama, A. (2023). Evaluasi Sifat Fisik, Kimia dan Mikrobiologi pada Susu Sapi Segar yang Didapat dari Beberapa Kelompok Ternak di KSU Mitra Jaya Mandiri Ciwidey, Kabupaten Bandung. *Jurnal Teknologi Hasil Peternakan*, 4(2), 256–267. <https://doi.org/10.24198/jthp.v4i2.52413>
- Shapira, A. G., Cahya, G., Darma, E., & Priani, S. E. (2024). *Pengaruh Perlakuan Plasma Dingin terhadap Cemaran Mikroba Susu Sapi Segar*. 91–98.
- Soltanzadeh, M., Peighamardoust, S. H., Gullon, P., Hesari, J., Gullón, B., Alirezalu, K., & Lorenzo, J. (2022). Quality aspects and safety of pulsed electric field (PEF) processing on

-
- dairy products: a comprehensive review. *Food Reviews International*, 38(S1), 96–117. <https://doi.org/10.1080/87559129.2020.1849273>
- Suciati, F., & Safitri, L. S. (2021). Pangan Fungsional Berbasis Susu dan Produk Turunannya. *Journal of Sustainable Research In Management of Agroindustry (SURIMI)*, 1(1), 13–19. <https://doi.org/10.35970/surimi.v1i1.535>
- Suthiluk, P., Chuensombat, N., Setha, S., & Naradisorn, M. (2023). Efek sinergis dari penyinaran UV-C dan pemrosesan bertekanan tinggi dalam mengurangi jumlah mikroba dalam jus nanas “Nanglae” dibandingkan dengan perlakuan panas konvensional. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 7, 979943.
- Yin, F., Zhu, Y., Koutchma, T., & Gong, J. (2015). Inactivation and potential reactivation of pathogenic *Escherichia coli* O157: H7 in bovine milk exposed to three monochromatic ultraviolet UVC lights. *Food Microbiology*, 49, 74–81. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2015.01.014>