

DOI: 10.29303/jrpb.v10i1.321
ISSN 2301-8119, e-ISSN 2443-1354
Tersedia online di <http://jrpb.unram.ac.id/>

OPTIMASI WAKTU *PRE-HEATING* DAN WAKTU *PULSED ELECTRIC FIELD* TERHADAP TOTAL MIKROBA DAN SIFAT FISIK SUSU

Optimization of Pre-Heating and Pulsed Electric Field Time on Microbial Number and Physical Properties of Milk

Angky Wahyu Putranto¹, Anugerah Dany Priyanto², Teti Estiasih³,
Widyasari⁴, Hadi Munarko^{2,*})

¹Program Studi Teknik Bioproses, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Brawijaya, Jl. Veteran Malang 65145, Indonesia

²Program Studi Teknologi Pangan, Fakultas Teknik, Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur, Jl.Raya Rungkut Madya, Gunung Anyar Surabaya 60294, Indonesia

³Program Studi Ilmu dan Teknologi Pangan, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Brawijaya, Jl. Veteran Malang 65145, Indonesia

⁴Program Studi Desain Komunikasi Visual, Fakultas Arsitektur dan Desain, Universitas Pembangunan nasional “Veteran” Jawa Timur, Jl.Raya Rungkut Madya, Gunung Anyar Surabaya 60294, Indonesia

Email*): hadi.munarko.tp@upnjatim.ac.id

Diterima: Desember 2021

Disetujui: Maret 2022

ABSTRACT

Pulsed electric field (PEF) is one of the non-thermal processing methods that could be applied to inactivate microorganisms in fresh milk. PEF for pasteurizing milk could be combined with pre-heating treatment with the purpose either to intensify microorganism lethality or to produce desired characteristics of pasteurized milk. The aim of this study was to optimize the pre-heating time and PEF time in pasteurized milk processing. The optimization was carried out using the response surface methodology with a central composite design model (RSM-CCD). Fresh milk (2,5 mL) was heated at 70°C for 10-30 min (pre-heating treatment) followed by PEF (15 kV/cm, 8,197 kHz, 66 μs) for 2-6 min. The pasteurization process was carried out in a chamber equipped with an agitator at 50 rpm. The response variables consisted of total plate count (TPC), viscosity, emulsion stability, and brightness level. The optimal pasteurization process based on the RSM-CCD modeling is pre-heating time for 10 minutes followed by PEF 3.907 minutes with a desirability level of 0.614. The prediction values of TPC, viscosity, emulsion stability, and brightness of the optimized milk were 2,126 log cfu/ml, 4,997 cP, 14,862 %, and 93,703, respectively.

Keywords: *pre-heating; pulsed electric field; pasteurized milk; optimum time*

ABSTRAK

Pulsed electric field (PEF) atau metode kejutan listrik tegangan tinggi merupakan salah satu metode pengolahan non-termal yang dapat diaplikasikan untuk membunuh mikroorganisme

pada susu segar. Penggunaan PEF untuk pasteurisasi susu dapat dikombinasikan dengan perlakuan pemanasan awal (*pre-heating*) untuk meningkatkan letalitas terhadap mikroorganisme maupun untuk menghasilkan susu dengan karakteristik mutu yang diinginkan. Penelitian ini bertujuan untuk melakukan optimasi waktu *pre-heating* dan waktu PEF pada pengolahan susu pasteurisasi. Optimasi dilakukan dengan menggunakan metode *response surface methodology* model *central composite design* (RSM-CCD). Susu segar dengan volume 2,5 L dipanaskan pada suhu 70°C selama 10-30 menit (perlakuan *pre-heating*) dilanjutkan dengan pemberian kejutan listrik (15 kV/cm, 8,197 kHz, 66 µs) selama 2-6 menit. Proses pasteurisasi dilakukan di dalam bejana berpengaduk dengan kecepatan 50 rpm. Respon yang diuji terdiri dari total cemaran (TPC), viskositas, stabilitas emulsi, dan tingkat kecerahan. Hasil optimasi waktu pasteurisasi yang direkomendasikan berdasarkan analisis RSM-CCD, yaitu *pre-heating* selama 10 menit dilanjutkan dengan PEF selama 3,907 menit dengan nilai *desirability* 0,614. Optimasi proses pasteurisasi menghasilkan prediksi nilai TPC, viskositas, stabilitas emulsi, dan kecerahan susu hasil optimasi secara berurutan sebesar 2,126 log cfu/ml, 4,997 cP, 14,862 %, dan 93,703.

Kata kunci: *pre-heating*; *pulsed electric field*; susu pasteurisasi; waktu optimal

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Susu merupakan salah satu bahan pangan yang kaya nutrisi namun cenderung mudah mengalami kerusakan. Susu dapat menjadi media pertumbuhan ideal bagi berbagai macam bakteri yang dapat menyebabkan masalah pada mutu dan keamanan susu (Angelidis, *et al.*, 2016). Ditinjau dari aspek keamanan pangan, susu juga berpotensi terkontaminasi oleh bakteri patogen yang dapat menyebabkan keracunan pangan (Andriawan & Susilo, 2015; Angelidis, *et al.*, 2016; Priyanto, *et al.*, 2021). Penurunan mutu dan keamanan susu dapat terjadi apabila susu tidak ditangani dengan baik. Potensi kontaminasi dan peningkatan jumlah bakteri pada susu dapat terjadi pada saat proses pemerahan, penggunaan peralatan yang tidak higienis, dan kontaminasi selama penyimpanan (Andriawan & Susilo, 2015; Quigley *et al.*, 2013; Sarkar, 2015).

Pencegahan kerusakan akibat pertumbuhan mikroorganisme pada susu dapat dilakukan salah satunya melalui proses pasteurisasi. Menurut Standar Nasional Indonesia, susu pasteurisasi merupakan susu segar, susu rekonstitusi, susu rekombinasi yang telah mengalami proses pemanasan pada suhu 63°C – 66°C

selama 30 menit atau pemanasan pada suhu 72°C selama minimum 15 detik, kemudian segera didinginkan hingga 10°C, selanjutnya diperlakukan secara aseptis dan disimpan pada suhu maksimum 4,4°C (BSN, 1995). Proses pasteurisasi secara efektif membunuh bakteri patogen yang ada pada susu (Maitimu, *et al.*, 2013). Berdasarkan persyaratan mutu yang diregulasikan pada SNI 01-3951-1995, susu pasteurisasi setidaknya memiliki bau, rasa, dan warna khas, serta kandungan *total plate count* (TPC) dan coliform masing-masing maksimal 3×10^4 ml dan 10 MPH/ml (BSN, 1995).

Proses pasteurisasi susu pada umumnya memanfaatkan panas atau suhu tinggi sebagai metode untuk menginaktivasi mikroorganisme. Parameter penting yang perlu diperhatikan dalam proses pasteurisasi salah satunya adalah kecukupan panas yang diperlukan untuk menginaktivasi mikroorganisme yang ada pada susu. Susu yang telah mengalami pemanasan pada suhu 63°C – 66°C selama 30 menit atau suhu 72°C selama minimal 15 detik dinilai telah memberikan efek letalitas pada mikroorganisme target sehingga memenuhi kecukupan panas untuk menginaktivasi mikroorganisme target. Namun demikian, penggunaan panas tinggi dalam waktu lama juga berpotensi menyebabkan kerusakan

komponen zat gizi seperti protein dan beberapa vitamin, rendahnya daya tegang *curd*, berubahnya keseimbangan ion hidrogen, dan berkurangnya pembentukan krim (Andriawan & Susilo, 2015; Priyanto, *et al.*, 2021; Sharma, *et al.*, 2014).

Pulsed Electric Field (PEF) merupakan salah satu teknologi non termal yang dapat digunakan untuk proses pasteurisasi susu. Teknologi PEF mengaplikasikan kejutan listrik tegangan tinggi pada suhu ruang selama beberapa detik ke bahan pangan untuk menginaktivasi mikroorganisme. Penggunaan suhu ruang dan waktu singkat selama proses pasteurisasi dapat meminimalisir kerusakan mutu akibat dari proses pemanasan (Andriawan & Susilo, 2015; Muslim, *et al.*, 2013).

Penggunaan PEF juga dapat dikombinasikan dengan pemanasan awal (*pre-heating*) untuk mengoptimalkan proses pasteurisasi susu. Penggunaan kombinasi *pre-heating* dan PEF selain dapat meningkatkan letalitas dalam menginaktivasi mikroorganisme, juga diharapkan dapat memperbaiki karakteristik fisikokimia susu pasteurisasi yang dihasilkan. Penelitian terdahulu melaporkan bahwa susu yang dipasteurisasi menggunakan PEF (tegangan 15,9-26,2 kV/cm) dengan perlakuan *pre-heating* (55°C, 24 detik) menurunkan jumlah cemar mikroba dari 3,43 log CFU/ml menjadi 2,82-2,12 CFU/ml (Sharma, *et al.*, 2014). Priyanto, *et al.*, (2021) melakukan studi pasteurisasi susu yang diperkaya dengan kolagen menggunakan kombinasi *pre-heating* dan PEF, dan melaporkan bahwa kombinasi pemanasan 65°C dilanjutkan dengan PEF selama 2 menit menunjukkan penurunan total mikroba sebesar 2,8 siklus log, sedangkan perlakuan pemanasan dan PEF yang dilakukan secara terpisah hanya dapat menurunkan total mikroba masing-masing sebesar 0,69 dan 0,72 siklus log. Namun demikian, penentuan waktu *pre-heating* dan waktu PEF yang optimum masih perlu dilakukan sehingga dapat mengoptimalkan penurunan jumlah

mikroba dan peningkatan mutu susu pasteurisasi.

Tujuan

Penelitian ini bertujuan untuk melakukan optimasi waktu *pre-heating* dan waktu PEF pada pengolahan susu pasteurisasi yang diolah dengan menggunakan teknologi PEF.

METODE PENELITIAN

Alat dan Bahan

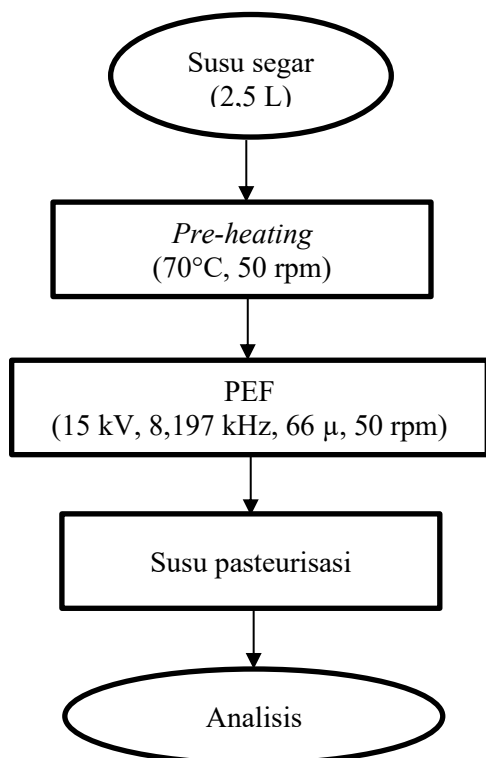
Peralatan yang digunakan untuk pasteurisasi susu adalah mesin PEF hasil fabrikasi sendiri dengan bejana pasteurisasi berbentuk silinder, berukuran 12 L, dan dilengkapi dengan sistem pemanas *double jacket* (Priyanto, *et al.*, 2021). Sistem konfigurasi elektroda dan pengaduk mengadopsi desain PEF yang dikembangkan oleh Putranto, *et al.*, (2020). Peralatan yang digunakan untuk analisis diantaranya seperti autoklaf (Hirayama HVE-85, Jepang), viskometer NDJ-8S (China) rotor #1, dan *colorimeter* Konica Minolta CR-14 (Jepang). Bahan baku susu sapi segar diperoleh dari SW Dairy Farm, Kletek, Sidoarjo, Jawa Timur. Adapun bahan kimia yang digunakan seperti biru metilen dan *phenolphthalein* diperoleh dari Merck (Damstadt, Jerman), alkohol dan H₂O₂ dibeli dari Sigma-Aldrich (ST. Louis, MO, USA), serta media *plate count agar* diperoleh dari Himedia (India).

Metode

Optimasi proses pasteurisasi susu dilakukan dengan menggunakan *response surface methodology* (RSM) menggunakan model *central composite design* (CCD). Waktu *pre-heating* (X₁) dan waktu PEF (X₂) digunakan sebagai faktor dalam penelitian ini. Waktu pemanasan yang digunakan pada kisaran 10-30 menit, sedangkan waktu PEF pada kisaran 2-6 menit. Respon yang diuji dalam penelitian ini terdiri dari nilai *total plate count* (TPC) (Y₁) dengan target minimal, viskositas (Y₂) dengan target maksimal, stabilitas emulsi (Y₃) dengan

target maksimal, dan kecerahan (Y_4) dengan target maksimal. Parameter yang telah ditentukan tersebut kemudian dimasukkan ke dalam perangkat lunak *design expert* 7.1.6.

Penentuan formula optimal dilakukan berdasarkan hasil analisis respon dari kombinasi perlakuan yang direkomendasikan oleh RSM-CCD. Optimasi dilakukan untuk menghasilkan kombinasi proses dengan nilai prediksi respon yang paling sesuai dengan nilai respon yang diinginkan. Kondisi tersebut pada RSM digambarkan melalui nilai *desirability*. Perlakuan dengan nilai *desirability* tertinggi direkomendasikan sebagai kondisi optimal (Palupi, *et al.*, 2020).



Gambar 1. Diagram alir proses pengolahan susu pasteurisasi

Prosedur pembuatan susu pasteurisasi mengacu pada penelitian Priyanto, *et al.*, (2021) dengan adanya beberapa modifikasi (Gambar 1). Susu sapi segar (2,5 L) dimasukkan ke dalam bejana pasteurisasi yang dilengkapi dengan pengaduk 50 rpm dan mulai dipanaskan hingga suhu aktualnya mencapai 70°C. Setelah itu, susu

diberi perlakuan *pre-heating* dan kejut listrik (PEF). Waktu *pre-heating* dihitung sejak suhu susu mencapai 70°C hingga tepat sebelum perlakuan PEF diberikan. Kondisi operasi kejut listrik adalah sebagai berikut: tegangan 15 kV/cm, frekuensi 8,197 kHz, dan lebar denyutan 66 μ s. Susu yang telah dipasteurisasi kemudian dianalisis kadar TPC menggunakan media *plate count agar* (Naghili, *et al.*, 2013), viskositas menggunakan viskometer NDJ-8S rotor #1 (Zhao, *et al.*, 2020), stabilitas emulsi menggunakan spektrofotometer pada panjang gelombang 500 nm (Zheng, Jia, & Jiang, 2014), dan tingkat kecerahan (*lightness*) menggunakan *colorimeter* Konica Minolta CR-14.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Respon Optimasi Proses Pasteurisasi Susu

Dalam melakukan optimasi proses pasteurisasi susu sapi, waktu *pre-heating* dan waktu PEF digunakan sebagai variabel bebas yang dapat memengaruhi respon yang diukur, sementara variabel lainnya selama proses dibuat terikat. Penggunaan rentang waktu *pre-heating* dan waktu PEF mengacu pada penelitian yang telah dilakukan sebelumnya (Priyanto, *et al.*, 2021) dan berdasarkan percobaan *trial and error* di laboratorium. Berdasarkan hasil input data pada RSM dengan model CCD, kombinasi waktu *pre-heating* dan waktu PEF menghasilkan 13 unit percobaan seperti yang disajikan pada Tabel 1.

Optimasi proses dilakukan untuk mendapatkan parameter optimal terhadap respon yang diuji. Formula optimal dipilih berdasarkan nilai *desirability* atau nilai ketepatan tertinggi. Nilai *desirability* merupakan nilai kesesuaian antara nilai respon yang diprediksi dengan nilai respon yang diinginkan. Nilai *desirability* 1 menunjukkan respon *the perfect case*, sedangkan nilai *desirability* 0 menandakan respon harus dibuang (Hendrawan, *et al.*, 2016; Palupi, *et al.*, 2020).

Berdasarkan hasil optimasi yang disajikan pada Tabel 2, terdapat 10 formula yang memiliki nilai *desirability* tertinggi dengan nilai sama yaitu 0,614. Untuk itu,

satu parameter yang dipilih dari 10 formula tersebut berdasarkan formula yang ada pada urutan teratas, yaitu waktu *pre-heating* 10 menit dan waktu PEF 3,907 menit.

Tabel 1. Data respon TPC, viskositas, stabilitas emulsi, dan kecerahan susu pasteurisasi dari rancangan CCD

No	Waktu <i>pre-heating</i> (menit)	Waktu PEF (menit)	TPC (log cfu/ml)	Viskositas (cP)	Stabilitas emulsi (%)	Kecerahan (L*)
1	20,00	4,00	1,52	4,33	13,79	85,51
2	20,00	1,17	1,78	4,73	13,89	89,21
3	34,14	4,00	0,00	3,91	11,98	71,47
4	20,00	4,00	1,52	4,35	13,75	85,41
5	5,86	4,00	2,75	5,36	15,13	97,13
6	30,00	6,00	1,11	3,65	12,11	76,97
7	30,00	2,00	1,31	3,94	12,12	83,41
8	20,00	4,00	1,54	4,34	13,76	85,42
9	20,00	6,83	1,25	4,21	13,67	83,12
10	20,00	4,00	1,52	4,33	13,79	85,51
11	10,00	6,00	1,67	4,97	14,81	90,53
12	20,00	4,00	1,53	4,33	13,74	85,43
13	10,00	2,00	1,88	5,08	14,75	96,01

Tabel 2. Formula yang dihasilkan dalam tahap optimasi

No	Waktu <i>pre-heating</i> (menit)	Waktu PEF (menit)	TPC (log cfu/ml)	Viskositas (cP)	Stabilitas emulsi (%)	Kecerahan (L*)	<i>Desirability</i>
1	10,000	3,907	2,126	4,997	14,862	93,703	0,614
2	10,000	3,894	2,127	4,998	14,862	93,719	0,614
3	10,000	3,923	2,124	4,996	14,861	93,682	0,614
4	10,000	3,930	2,124	4,996	14,861	93,673	0,614
5	10,000	3,949	2,123	4,994	14,861	93,650	0,614
6	10,000	3,973	2,121	4,993	14,860	93,619	0,614
7	10,003	3,996	2,119	4,991	14,860	93,587	0,614
8	10,000	4,042	2,116	4,988	14,859	93,530	0,614
9	10,000	3,752	2,137	5,008	14,864	93,902	0,614
10	10,000	3,617	2,147	5,018	14,866	94,075	0,614
11	10,000	3,424	2,161	5,032	14,869	94,323	0,613
12	10,000	3,385	2,163	5,034	14,870	94,373	0,613
13	10,000	4,700	2,068	4,941	14,849	92,685	0,613
14	10,000	3,082	2,185	5,056	14,875	94,762	0,613
15	10,000	4,807	2,060	4,933	14,847	92,548	0,612
16	10,002	2,870	2,201	5,071	14,878	95,033	0,612
17	10,483	2,435	2,202	5,075	14,827	95,215	0,610

Optimasi Cemaran TPC Susu Pasteurisasi

Gambar 2 menyajikan respon nilai cemaran TPC susu yang dipasteurisasi pada waktu *pre-heating* dan waktu PEF berbeda. Model prediksi untuk respon TPC berdasarkan hasil pengujian menggunakan

RSM-CCD berbentuk linear sesuai persamaan 1.

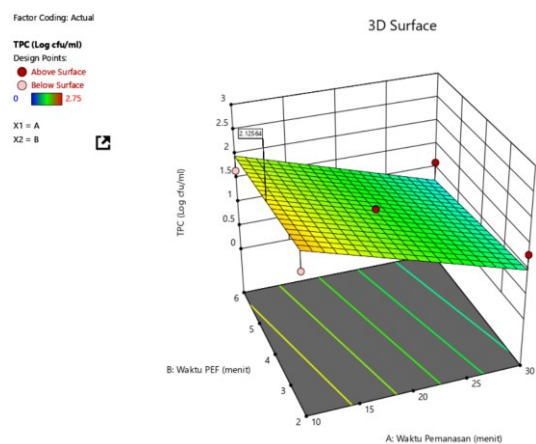
$$C = 3,04 - 0,06A - 0,07B \dots\dots\dots(1)$$

Keterangan: A = waktu *pre-heating* dan B = waktu PEF.

Hasil optimasi waktu *pre-heating* dan waktu PEF berdasarkan persamaan (1) dan

Gambar 2 menunjukkan bahwa semakin lama waktu *pre-heating* dan waktu PEF semakin menurunkan kandungan TPC pada susu pasteurisasi. Waktu proses *pre-heating* dan waktu PEF optimal berdasarkan hasil analisis masing-masing selama 10 menit dan 3,907 menit. Berdasarkan pemodelan tersebut, cemaran TPC yang ada pada susu pasteurisasi diprediksi tersisa 2,126 log cfu/ml.

Proses pasteurisasi memiliki tujuan utama untuk membunuh mikroorganisme pembusuk yang ada pada susu segar hingga memenuhi standar yang dipersyaratkan dan memiliki umur simpan yang lebih lama (Wulandari, *et al.*, 2017). Menurut Priyanto, *et al.*, (2021), kandungan TPC pada susu segar dapat mencapai 5,267 log cfu/ml. Sementara itu, standar SNI 01-3951-1995 menyebutkan bahwa batas maksimal cemaran TPC pada susu pasteurisasi adalah sebesar 4,477 log cfu/ml. Hasil optimasi waktu *pre-heating* dan waktu PEF telah sesuai dengan persyaratan yang ditentukan oleh SNI 01-3951-1995 tentang batasan maksimal cemaran TPC pada susu pasteurisasi. Pada penelitian terdahulu juga telah dijelaskan bahwa penggunaan PEF yang dikombinasikan dengan *pre-heating* menunjukkan tren penurunan total cemaran mikroba yang lebih baik jika dibandingkan dengan penggunaan proses tunggal (Hawa, *et al.*, 2011; Priyanto, *et al.*, 2021).



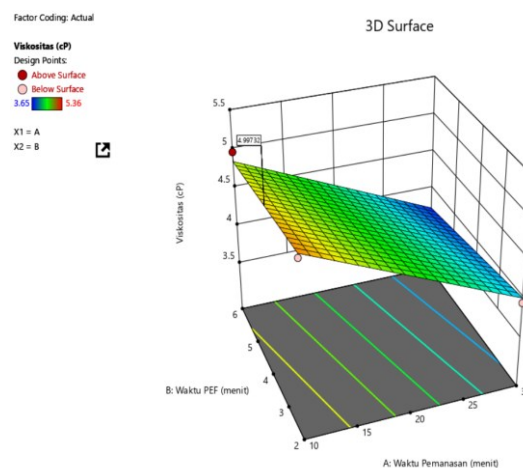
Gambar 2. Pengaruh waktu *pre-heating* dan waktu PEF terhadap respon TPC pada susu pasteurisasi

Optimasi Viskositas Susu Pasteurisasi

Hasil optimasi waktu *pre-heating* dan waktu PEF selama pasteurisasi terhadap respon viskositas disajikan pada Gambar 3. Model prediksi untuk respon viskositas berdasarkan hasil analisis berbentuk linear sesuai persamaan 2.

$$C = 5,84 - 0,06A - 0,07B \dots\dots\dots(2)$$

Keterangan: A = waktu *pre-heating* dan B = waktu PEF.



Gambar 3. Pengaruh waktu *pre-heating* dan waktu PEF terhadap respon viskositas susu pasteurisasi

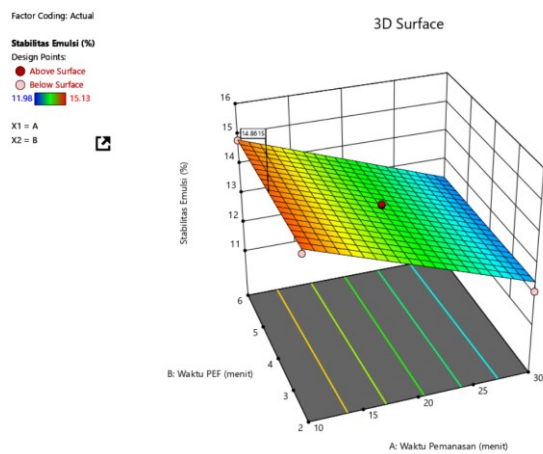
Berdasarkan pemodelan yang dilakukan pada Gambar 3 dan persamaan (2), prediksi viskositas susu pasteurisasi pada kondisi optimum sebesar 4,997 cP. Lama waktu *pre-heating* dan waktu PEF untuk pasteurisasi susu berdasarkan model yang diperlihatkan cenderung menurunkan viskositas susu. Menurut Priyanto, *et al.*, (2021), waktu *pre-heating* hingga 40 menit tidak memberikan pengaruh nyata terhadap viskositas susu yang dipasteurisasi menggunakan PEF. Namun, pada penelitian ini penggunaan kombinasi waktu *pre-heating* dan waktu PEF cenderung menunjukkan pola penurunan viskositas seiring dengan lama waktu pasteurisasinya. Hasil ini diduga menjadi indikasi bahwa waktu *pre-heating* dan PEF dapat mengubah viskositas susu apabila pasteurisasi dilakukan dalam waktu yang lebih lama.

Optimasi Stabilitas Emulsi Susu Pasteurisasi

Gambar 4 menyajikan hasil optimasi stabilitas emulsi susu pasteurisasi pada waktu *pre-heating* dan waktu PEF berbeda. Berdasarkan hasil optimasi yang dilakukan, model prediksi yang menggambarkan optimasi stabilitas emulsi pada susu pasteurisasi berbentuk linear sesuai persamaan 3.

$$C = 16,15 - 0,12A - 0,02B \dots \dots \dots (3)$$

Keterangan: A = waktu *pre-heating* dan B = waktu PEF.



Gambar 4. Pengaruh waktu *pre-heating* dan waktu PEF terhadap respon stabilitas emulsi susu pasteurisasi

Stabilitas emulsi pada susu pasteurisasi dapat diamati dengan mengamati pemisahan antara padatan dan cairan akibat dari adanya gaya sentrifugal. Terlihat pada persamaan (3) bahwa penurunan emulsi terjadi akibat dari lamanya waktu *pre-heating*, sementara lama waktu PEF tidak terlalu menunjukkan tren penurunan. Hasil optimasi dengan metode permukaan respon menunjukkan bahwa pasteurisasi susu pada kondisi optimum menghasilkan karakteristik susu dengan prediksi nilai stabilitas emulsi sebesar 14,862%. Nilai stabilitas emulsi pada susu pasteurisasi hasil optimasi masih relatif rendah. Menurut Priyanto, *et al.*, (2021), perlakuan *pre-heating* maupun PEF tidak memberikan dampak nyata terhadap stabilitas emulsi susu pasteurisasi.

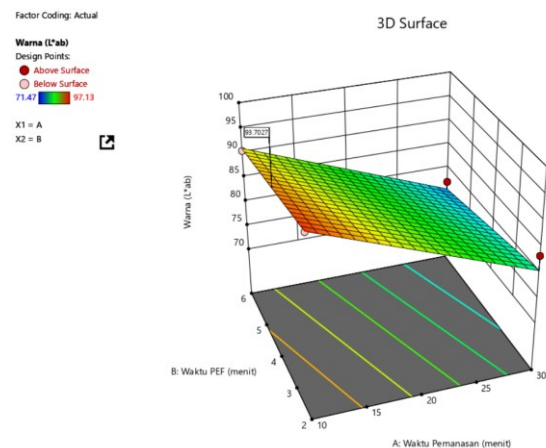
Susu merupakan salah satu produk emulsi lemak di dalam air (o/w). Bagian hidrofilik dan hidrofobik pada protein susu mampu berikatan dengan fase air dan lemak sehingga proses emulsifikasi dapat terjadi (Wang, *et al.*, 2016). Namun, stabilitas emulsi susu segar maupun susu pasteurisasi non homogenisasi relatif tidak stabil sehingga mengakibatkan terjadinya pemisahan fraksi lemak dan protein pada susu. Beberapa cara yang dapat dilakukan untuk meningkatkan stabilitas emulsi pada susu pasteurisasi yaitu melalui proses homogenisasi maupun penambahan emulsifier (Braun, *et al.*, 2019; Wang, *et al.*, 2016).

Optimasi Tingkat Kecerahan Susu Pasteurisasi

Gambar 5 menyajikan data respon optimasi tingkat kecerahan susu pasteurisasi dengan faktor waktu *pre-heating* dan waktu PEF. Berdasarkan hasil analisis, model prediksi yang menggambarkan optimasi kecerahan susu berbentuk linear dengan persamaan 4.

$$C = 106,52 - 0,78A - 1,28 \dots \dots \dots (4)$$

Keterangan: A = waktu *pre-heating* dan B = waktu PEF.



Gambar 5. Pengaruh waktu *pre-heating* dan waktu PEF terhadap tingkat kecerahan susu pasteurisasi

Tingkat kecerahan merupakan salah satu parameter penting pada susu pasteurisasi. Susu segar secara alami memiliki warna karena adanya pemantulan

cahaya oleh komponen terdispersi seperti globula lemak, protein, dan beberapa pigmen alami susu seperti riboflavin dan karotenoid (Chugh, *et al.*, 2014). Akan tetapi, tingkat kecerahan susu dapat mengalami perubahan seperti terjadinya reaksi mailard akibat dari proses pengolahan yang menggunakan suhu tinggi atau bahkan terjadi peningkatan tingkat kecerahan secara temporer karena adanya denaturasi protein *whey* (Browning, *et al.*, 2001; Dunkerley, *et al.*, 1993; Mittal & Bajwa, 2014).

Mengacu pada Gambar 5 dan persamaan (4) dapat dilihat bahwa waktu *pre-heating* dan waktu PEF cenderung menurunkan tingkat kecerahan susu pasteurisasi. Hal ini diduga akibat dari adanya reaksi pencoklatan yang terjadi selama proses pasteurisasi (Mittal & Bajwa, 2014; Singh, *et al.*, 2021). Optimasi waktu *pre-heating* dan waktu PEF dilakukan untuk mendapatkan waktu optimal yang menghasilkan tingkat kecerahan maksimal pada susu dan meminimalisir terjadinya reaksi pencoklatan. Berdasarkan hasil pemodelan, waktu *pre-heating* 10 menit dan waktu PEF 3,907 menit merupakan waktu optimal dengan prediksi tingkat kecerahan susu sebesar 93,703.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Kondisi optimal proses pasteurisasi susu berdasarkan respon nilai TPC, viskositas, stabilitas emulsi, dan tingkat kecerahan diperoleh dari waktu *pre-heating* 10 menit dan PEF 3,907 menit. Prediksi nilai cemaran TPC, viskositas, stabilitas emulsi, dan tingkat kecerahan hasil optimasi berturut-turut sebesar 2,126 log cfu/ml, 4,997 cP, 14,862 %, dan 93,703 %.

Saran

Perlu adanya penelitian mengenai analisis beberapa jenis patogen spesifik yang merupakan kontaminan produk susu setelah dilakukannya proses PEF pada perlakuan optimum.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini sepenuhnya didukung dan didanai oleh Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi (Kemendikbudristek) Republik Indonesia dalam Program *Matching Fund* Tahun 2021. Terima kasih kepada beberapa mahasiswa yang telah membantu sebagai teknisi laboratorium dalam kegiatan penelitian ini, yakni Khoirun Nisa, Rangga Kurnia, Faiz Ramadhani, Berta Patrisiya, Rosa Andiani, Hakim Putra Ashari, dan Wildan Naufal Esfandiar. Selain itu, metode penelitian dan teknologi tepat guna ini nantinya akan diimplementasikan pada produksi susu pasteurisasi di CV. Milknesia Nusantara, Ponorogo, Jawa Timur.

DAFTAR REFERENSI

- Andriawan, V., & Susilo, B. (2015). "Susu Listrik" Alat Pasteurisasi Susu Kejut Listrik Tegangan Tinggi (Pulsed Electric Field) Menggunakan Transformator Tegangan Tinggi dan Inverter. *Jurnal Keteknikaan Pertanian Tropis Dan Biosistem*, 3(2), 199–210.
- Angelidis, A. S., Tsiota, S., Pexara, A., & Govaris, A. (2016). The microbiological quality of pasteurized milk sold by automatic vending machines. *Letters in Applied Microbiology*, 62(6), 472–479. <https://doi.org/10.1111/lam.12572>.
- Braun, K., Hanewald, A., & Vilgis, T. A. (2019). Milk emulsions: Structure and stability. *Foods*, 8(10), 1–16. <https://doi.org/10.3390/foods8100483>.
- Browning, E., Lewis, M., & Macdougall, D. (2001). Predicting safety and quality parameters for UHT-processed milks. *International Journal of Dairy Technology*, 54, 111–120.
- BSN. (1995). *SNI 01-3951-1995: Susu*

- pasteurisasi*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Chugh, A., Khanal, D., Walkling-Ribeiro, M., Corredig, M., Duizer, L., & Griffiths, M. W. (2014). Change in color and volatile composition of skim milk processed with pulsed electric field and microfiltration treatments or heat pasteurization. *Foods*, 3(2), 250–268. <https://doi.org/10.3390/foods3020250>
- Dunkerley, J. A., Ganguli, N. C., & Zadow, J. G. (1993). Reversible changes in the colour of skim milk on heating suggest rapid reversible heat-induced changes in casein micelle size. *Australian Journal of Dairy Technology*, 48, 66–70.
- Hawa, L. C., Susilo, B., & Jayasari, N. E. (2011). Studi Komparasi Inaktivasi *Escherichia Coli* dan Perubahan Sifat Fisik Pada Pasteurisasi Susu Sapi Segar Menggunakan Metode Pemanasan dan Tanpa Pemanasan dengan Kejut Medan Listrik. *Jurnal Teknologi Pertanian*, 12(1), 31–39.
- Hendrawan, Y., Susilo, B., Putranto, A. W., Riza, D. F. Al, Maharani, D. M., & Amri, M. N. (2016). Optimasi dengan Algoritma RSM-CCD pada Evaporator Vakum Waterjet dengan Pengendali Suhu Fuzzy pada Pembuatan Permen Susu. *Jurnal Agritech*, 36(02), 226.
- Maitimu, C. V, Legowo, A. M., & Al-Baarri, A. N. (2013). Karakteristik Mikrobiologis, Kimia, Fisik dan Organoleptik Susu Pasteurisasi dengan Penambahan Ekstrak Daun Aileru (*Wrightia calycina*) Selama Penyimpanan. *Jurnal Aplikasi Teknologi Pangan*, 2(1), 18–29.
- Mittal, S., & Bajwa, U. (2014). Effect of heat treatment on the storage stability of low calorie milk drinks. *Journal of Food Science and Technology*, 51(9), 1875–1883. <https://doi.org/10.1007/s13197-012-0714-z>
- Muslim, C., Hawa, L. C., & Argo, B. D. (2013). Pasteurisasi Non-Termal Pada Susu Sapi Segar untuk Inaktivasi Bakteri *Staphylococcus aureus* Berbasis Pulse Electric Field (PEF). *Jurnal Keteknikan*, 1(1), 35–49.
- Naghili, H., Tajik, H., Mardani, K., Rouhani, S. M. R., Ehsani, A., & Zare, P. (2013). Validation of Drop Plate Technique for Bacterial Enumeration by Parametric and Nonparametric Tests. *Veterinary Research Forum*, 4(3), 179–183.
- Palupi, N. S., Indrastuti, N. A., Uju, & Syamsir, E. (2020). Optimasi Penggunaan Karagenan dan Kalsium Sulfat pada Pembuatan Tahu Sutra dalam Penembangan Pangan Fungsional. *Jurnal Pengolahan Hasil Perikanan Indonesia*, 23(2), 272–285. <https://doi.org/10.17844/jphpi.v23i2.30973>.
- Priyanto, A. D., Wicaksono, L. A., & Putranto, A. W. (2021). Pengaruh Suhu dan Waktu Pre-Heating pada Kualitas Fisik, Total Mikroba dan Organoleptik Susu Kolagen Sapi yang Dipasteurisasi. *Jurnal Keteknikan Pertanian Tropis Dan Biosistem*, 9(2), 141–153.
- Putranto, A. W., Abida, S. H., Adrebi, K., & Harianti, A. (2020). Lignocellulosic Analysis of Corncob Biomass by Using Non-Thermal Pulsed Electric Field-NaOH Pretreatment. *Reaktor*, 20(4), 183–191.
- Quigley, L., McCarthy, R., O’Sullivan, O., Beresford, T. P., Fitzgerald, G. F., Ross, R. P., ... Cotter, P. D. (2013). The microbial content of raw and pasteurized cow milk as determined

- by molecular approaches. *Journal of Dairy Science*, 96(8), 4928–4937. <https://doi.org/10.3168/jds.2013-6688>
- Sarkar, S. (2015). Microbiological considerations: Pasteurized milk. *International Journal of Dairy Science*, 10(5), 206–218. <https://doi.org/10.3923/ijds.2015.206.218>
- Sharma, P., Bremer, P., Oey, I., & Everett, D. W. (2014). Bacterial Inactivation in Whole Milk Using Pulsed Electric Field Processing. *International Dairy Journal*, 35(1), 49–56.
- Sharma, P., Oey, I., Bremer, P., & Everett, D. W. (2014). Reduction of Bacterial Counts and Inactivation of Enzymes in Bovine Whole Milk Using Pulsed Electric Fields. *International Dairy Journal*, 39(1), 146–156.
- Singh, P., Rao, P. S., Sharma, V., & Arora, S. (2021). Physico-chemical aspects of lactose hydrolysed milk system along with detection and mitigation of maillard reaction products. *Trends in Food Science and Technology*, 107(September 2020), 57–67. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.11.030>.
- Wang, C., Lou, X., & Wang, J. (2016). Fatty Acid Composition and Fat Stability of Raw Milk and Pasteurized Milk from Laoshan Goats. *Journal of Agricultural Science*, 8(6), 149. <https://doi.org/10.5539/jas.v8n6p149>.
- Wulandari, Z., Taufik, E., & Syarif, M. (2017). Kajian Kualitas Produk Susu Pasteurisasi Hasil Penerapan Rantai Pendingin. *Jurnal Ilmu Produksi Dan Teknologi Hasil Peternakan*, 5(3), 94–100. <https://doi.org/10.29244/jipthp.5.3.94-100>
- Zhao, L., Zhang, M., Wang, H., & Devahastin, S. (2020). Effect of Carbon Dots in Combination with Aqueous Chitosan Solution on Shelf Life and Stability of Soy Milk. *International Journal of Food Microbiology*, 326, 108650.
- Zheng, M., Jia, Z. B., & Jiang, J. X. (2014). Emulsifying and foaming properties of soy protein isolates with covalent modification by (-)-epigallocatechin-3-gallate. *Advanced Journal of Food Science and Technology*, 6(2), 238–240.