

Desain Perancangan Teknologi Pulsed Electric Field dalam Reduksi Bakteri Ikan

Qirom^{1*}, Arry Darmawan², Bahrn Niam¹

¹Diploma Tiga Teknik elektronika, Politeknik Harapan Bersama

Jl. Mataram No.9, Pesurungan Lor, Kec. Margadana, Kota Tegal, Jawa Tengah

²Department Food Science and Technology, Faculty of Agricultural Engineering and Technology, IPB University

Jl. Raya Dramaga, Babakan, Kec. Dramaga, Kabupaten Bogor

E-mail: qirom.bahagia2@email.com

Naskah Masuk: 05 Juli 2023; Diterima: 21 Agustus 2023; Terbit: 28 Agustus 2023

ABSTRAK

Abstrak - PEF (Pulsed Electric Field) adalah sebuah teknologi pengawetan pangan yang menggunakan metode non termal, di mana peningkatan suhu yang dihasilkan selama proses perlakuan sangat rendah. Pulsed Electric Field (PEF) merupakan suatu teknologi pengawetan pangan non thermal karena kenaikan suhu yang dihasilkan rendah selama proses perlakuan. Perlakuan PEF berpotensi sebagai metode pemrosesan minimal. Tujuan penelitian ini ialah untuk merancang sebuah alat pulsed electric field yang digunakan untuk reduksi bakteri produk perikanan dengan sampel fillet ikan tongkol, dengan metode research and development yang menghasilkan sebuah alat dengan spesifikasi output luaran 1kV hingga 5 kV, square pulse, 2 ampere serta mampu untuk mereduksi bakteri halofilik dengan sampel ikan tongkol. Perlakuan fillet ikan tongkol dengan tegangan 1kV-5kV dengan masing-masing durasi 10,20,30 detik pada setiap perlakuan menghasilkan titik optimum perlakuan 5kV dengan durasi 30 detik mampu mereduksi bakteri halofilik.

Kata kunci: Ikan, Pulsed electric field, Reduksi bakteri.

ABSTRACT

Abstract - PEF (Pulsed Electric Field) is a food preservation technology that uses a non-thermal method, in which the temperature increase generated during the treatment process is very low. PEF treatment has the potential as a minimal processing method. The purpose of this research is to design a pulsed electric field tool used for bacterial reduction of fishery products with tuna fillet samples, with a research and development method that produces a tool with output specifications of 1kV to 5kV, square pulse, 2 ampere and is able to reduce halophilic bacteria with tuna samples. The treatment of tuna fillets with a voltage of 1kV-5kV with each duration of 10, 20, 30 seconds in each treatment resulted in an optimum point of 5kV treatment with a duration of 30 seconds capable of reducing halophilic bacteria.

Keywords: Fish, Pulsed electric field, Bacterial reduction.

Copyright © 2023 Jurnal Teknik Elektro dan Komputasi (ELKOM)

1. PENDAHULUAN

Produk perikanan pada pasar komersial umumnya telah memenuhi proses pengolahan yang baik setelah melalui proses pemilahan dari pelabuhan. Namun demikian, risiko kerusakan produk ini masih ada karena kerusakan fisik dan bau tidak sedap yang dihasilkan oleh bakteri. Untuk meningkatkan penerimaan produk perikanan baik di tingkat nasional maupun internasional, diperlukan upaya untuk memperbaiki mutu produk perikanan. Hal ini mencakup peningkatan kualitas produk selama masa penyimpanan serta peningkatan nilai gizi produk itu sendiri. Perbaikan kualitas bahan pangan jika dilihat dari prosesnya ada dua jenis yaitu proses *thermal* maupun *non thermal*. Proses *thermal* yaitu proses yang menggunakan panas, kelemahan metode ini ialah nutrisi sebuah bahan pangan akan rusak ketika mengalami proses pemanasan seperti protein, lemak ataupun kualitas fisik. Oleh sebab itu pemilihan metode *non thermal* menjadi sebuah pilihan dalam mengolah bahan pangan tanpa banyak merusak kandungan yang ada. Salah satu proses *non thermal* yaitu *pulsed electric field* sebuah metode yang menggunakan medan listrik yang mampu untuk menginaktivasi bakteri perusak.

Medan listrik berdenyut atau *pulsed electric field* (PEF) adalah salah satu teknik pemrosesan berbasis listrik[1][2]. Namun, penerapan pulsa listrik pendek pada tegangan tinggi memungkinkan kontrol efek

thermal tetap rendah, membuatnya berbeda dari teknik berbasis listrik *thermal*, seperti pemanasan ohmik[3][4].

Penelitian ini memiliki tujuan untuk mengembangkan dan mengimplementasikan teknologi *pulsed electric field* (PEF) dalam proses produksi ikan tongkol fillet di usaha kecil dan menengah yang menjual produknya secara langsung kepada konsumen. Teknologi PEF memiliki potensi untuk mengendalikan keberadaan mikroorganisme pembusuk dan patogen dalam makanan secara efisien dan menjaga kandungan gizi dikarenakan tidak menghadirkan perubahan suhu pada saat treatment dilakukan. Oleh sebab itu rancangan teknologi PEF ini sangat potensial untuk mendukung industri produk perikanan untuk meningkatkan kualitas produk dari segi rendahnya cemaran bakteri dan keamanan pangan.

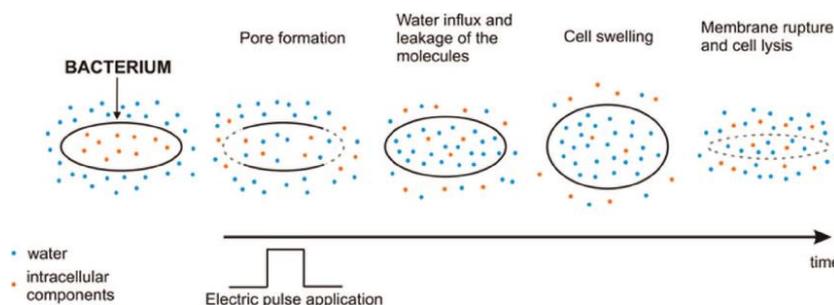
2. KAJIAN PUSTAKA

Penelitian sebelumnya telah berhasil dibuat *pulsed electric field* untuk mereduksi bakteri pada benda cair seperti pasteurisasi sari apel [5], pasteurisasi susu [6] dan proses *thawing* [7]. Sehingga diperlukan pengujian dilakukan pada benda pada seperti produk perikanan PEF (*Pulsed Electric Field*) adalah metode di mana tegangan listrik diberikan pada bahan untuk merusak dinding sel tanpa merusak komponen bioaktif di dalamnya. PEF menggunakan medan listrik tinggi yang diterapkan pada bahan melalui dua elektroda dalam waktu singkat. Perlakuan PEF dapat meningkatkan produksi metabolit sekunder yang terkait dengan respons sel terhadap medan listrik, akumulasi dan tarik-menarik partikel bermuatan pada membran sel yang tidak konduktif, yang mengakibatkan penipisan atau kerusakan membran sel. Kerusakan membran tersebut memungkinkan keluarnya produk dengan tingkat difusi yang lebih tinggi saat proses ekstraksi, sehingga menghasilkan rendemen yang lebih tinggi [8]. Beberapa parameter utama dalam proses PEF meliputi kekuatan medan listrik, lebar pulsa, jumlah pulsa, waktu paparan, frekuensi, energi masukan spesifik, suhu, dan desain ruang [9]. Dalam asumsi bahwa permitivitas bahan pangan sama, kuat medan listrik rata-rata mengikuti persamaan (1)

$$E = V/d \tag{1}$$

Dalam alat PEF, terdapat tegangan V yang dihasilkan dan jarak d antara elektroda. Dari persamaan yang diberikan, dapat diamati bahwa semakin bertambahnya jarak antara elektroda, tegangan yang diperlukan akan semakin tinggi untuk menghasilkan medan listrik yang diinginkan [10].

Dengan mengatur nilai tegangan dan jarak elektroda akan menghasilkan proses elektroporasi, yaitu suatu fenomena yang terjadi ketika sel-sel biologis terkena pulsa listrik tinggi dan singkat, yang mengakibatkan pembentukan pori-pori sementara pada membran sel [11].



Gambar 1. Fenomena electroprasi

3. METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan adalah *Research and Development* (R&D) dengan empat tahapan pelaksanaan (Definisi, Perancangan, Pengembangan, Penyebaran) [12].

Define

Mendefinisikan rancangan desain yang akan digunakan yaitu untuk alat *pulsed electric field* dimana karakteristik dari alat ini yaitu output tegangan tinggi berbentuk pulsa.

Desain

Pulsed electric field disesuaikan dengan kebutuhan industri kecil dan menengah dengan melakukan pengujian tegangan keluaran, panjang gelombang, mengatur frekuensi panjang gelombang.

Develop

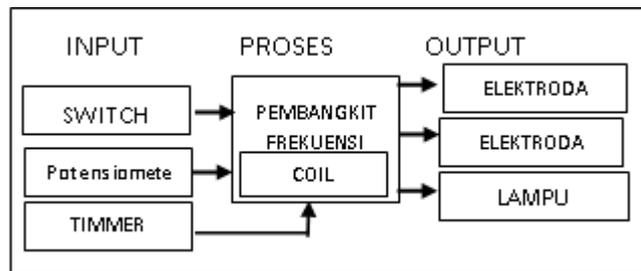
Mengembangkan kerangka dari define dan desain yang sudah layak, dengan modifikasi sesuai dengan kebutuhan pengguna serta melakukan pengujian penelitian menggunakan analisis data yang dilakukan dengan pengulangan sebanyak 3 kali dengan standar PUIL[13] dan validasi desain menggunakan pakar. Analisis statistik dilakukan di Microsoft Excel 2013. Untuk mengetahui hubungan antara masing-masing rasio pengurangan bilangan halofilik, dengan masing-masing parameter listrik (tegangan awal, frekuensi, dan durasi waktu).

Disseminate

menggunakan bantuan user dalam pengujian kelayakan alat *pulsed electric field*

3.1. Blok Diagram

Blok diagram berfungsi untuk memberikan gambaran yang lebih jelas tentang bagaimana sistem alat yang akan dibuat bekerja. Di bawah ini adalah blok diagram yang menggambarkan sistem tersebut.

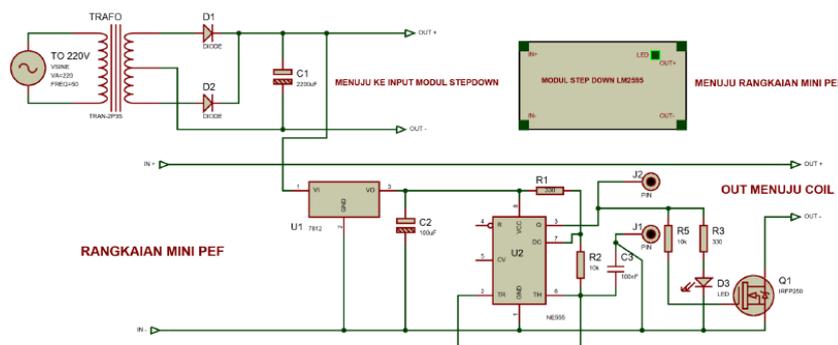


Gambar 2. Diagram blok input proses output PEF

Diagram blok di atas memiliki tiga proses yang mencakup input, proses, dan output. Bagian input merupakan titik awal di mana listrik AC masuk ke sistem. Tegangan dapat diatur menggunakan potensiometer, serta waktu perlakuan juga dapat diatur. Pada blok proses, listrik AC akan diubah menjadi DC dan kemudian diubah menjadi bentuk pulsed melalui elektroda + yang terhubung dengan coil, sedangkan elektroda - berfungsi sebagai ground untuk listrik yang dipancarkan. Kondisi proses perlakuan dapat diketahui melalui indikator seperti lampu buzzer yang ada di dalam sistem.

3.2. Desain Rangkaian Pulsed Electric Field

Rangkaian *pulsed electric field* dibuat dengan komponen inti IC pembangkit frekuensi NE555 dengan output tegangan tinggi menggunakan coil. Adapun untuk merubah nilai tegangan output diatur dengan potensiometer yang terdapat pada modul LM2595.



Gambar 3. Skematik rangkaian pulsed electric field

Secara umum, tegangan primer (output) pada coil dapat dihitung dengan menggunakan persamaan dasar transformator sebagai berikut:

$$V_{\text{primer}} = V_{\text{input}} \times (N_{\text{primer}} / N_{\text{input}}) \tag{2}$$

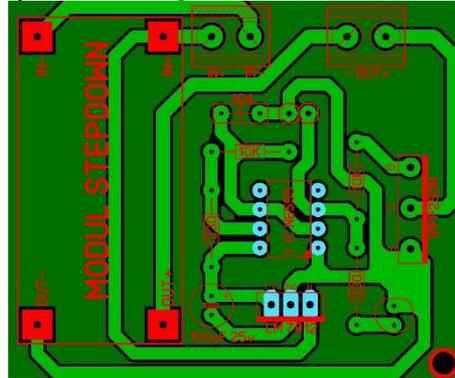
dimana:

V_{primer} adalah tegangan primer coil pengapian.

V_{input} adalah tegangan input yang diberikan ke koil pengapian (misalnya, tegangan baterai).
 N_{primer} adalah jumlah lilitan pada koil primer.
 N_{input} adalah jumlah lilitan pada koil input.

3.3. Desain Rancangan Layout PCB

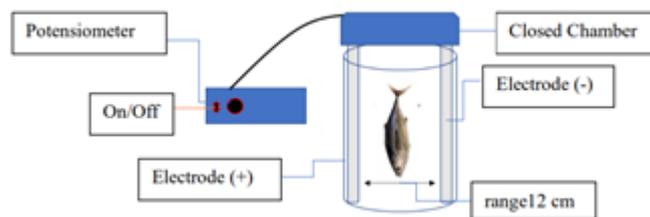
Setelah diperoleh skematik rangkaian *pulsed electric field* menggunakan *software* Proteus, langkah selanjutnya adalah membuat desain *layout* PCB untuk menggabungkan semua komponen menjadi satu. Berikut hasil *layout* PCB *pulsed electric field*.



Gambar 4. Desain layout PCB *pulsed electric field*

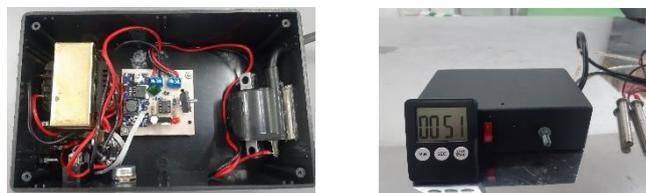
3.4. Rangkaian pulsed electric field

Medan listrik pulsa dirancang menggunakan elektroda tubular dan stainless dengan model pelat sejajar, dan pengaturan tegangan secara manual menggunakan potensiometer.



Gambar 5. Desain medan listrik berdenyut dan sampel

Setelah melakukan rancangan desain kemudian dilakukan pembuatan alat secara keseluruhan *pulsed electric field*.



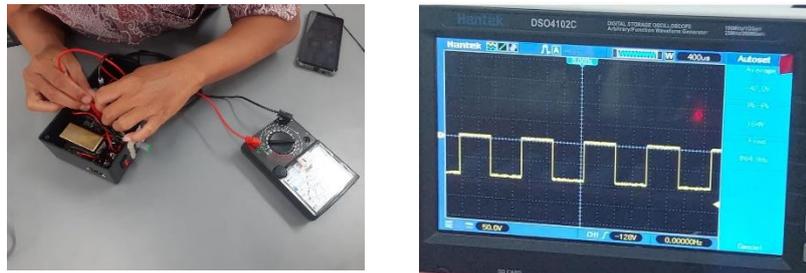
(a) (b)

Gambar 6. (a) Rangkaian PEF (b) Tampilan PEF dengan Elektroda

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini menggunakan sistem *batch room* meskipun batasan dari sistem *batch room* hanya memungkinkan pengolahan makanan cair dan padat dalam jumlah volume tertentu. Namun, ruang dinamis dapat mencapai produktivitas yang sama dengan sampel cairan yang diolah secara konvensional dengan perlakuan berkelanjutan yang diperlukan dalam aplikasi industri. Elektroda paralel, koaksial, dan *collinear* adalah konfigurasi elektroda yang umum digunakan dalam PEF [14]. *Pulsed electric field* yang sudah dirancang kemudian dilakukan pengujian output tegangan serta pengukuran kuat arus menggunakan

multimeter dan osciloskop seperti ditunjukkan pada gambar 7(a) dan 7(b) dengan hasil ditunjukkan pada tabel 1 dan tabel 2.



Gambar 7. Pengukuran tegangan dan arus PEF

Tabel 1. Uji tegangan

Nama Pengujian	Besaran kV	Hasil (kV)			Rata-rata
		1 kali	2 kali	3 kali	
Output Tegangan	1	1,04	1,03	1,03	1,03
	2	2,05	2,06	2,04	2,05
	3	3,11	3,13	3,09	3,11
	4	4,12	4,09	4,08	4,09
	5	5,13	5,11	5,10	5,11

Tabel 2. Uji kuat arus

Nama Pengujian	Besaran ampere	Hasil (A)			Rata-rata
		1 kali	2 kali	3 kali	
Arus Ampere	10	9,98	9,94	9,90	9,94

Setelah dilakukan pengukuran output tegangan maka selanjutnya ialah dilakukan pengukuran menggunakan *oscilloscope* dan dilanjutkan dengan mengumpulkan data spesifikasi, Adapun data yang sudah dikumpulkan sebagai berikut:

Tabel 3. Spesifikasi lengkap PEF

Spesifikasi	Output
Tegangan	1kV up to 5kV
Elektroda	Parallel plate
Elektroda material	Stainless steel
Sistem perawatan	Batch (no continuous)
arus listrik yang kuat	10 ampere
Penanganan	Bipolar (rectangular)
Bentuk listrik dc	Square pulse
Gelombang	400µs
Frekuensi gelombang	684Hz
Suhu	Normal

Spesifikasi *pulsed electric field* yang dirancang disesuaikan sesuai kebutuhan yaitu melihat kebutuhan ikan tongkol fillet yang akan diberi perlakuan. Medan listrik berdenyut dipasang menggunakan elektroda *stainless steel* tahan karat sesuai dengan standar logam tahan karat [15] dan dikategorikan sebagai *food grade* [16]. Elektroda yang dipasang secara parallel [17]. Panjang elektroda 12 cm dan lebar 0,8 cm berbentuk tabung. Pemasangan elektroda di antara dua sisi sampel makanan yang akan diberi perlakuan dengan satu sebagai penghasil listrik dan satu lagi sebagai ground listrik[2]. Dalam konfigurasi ini, area efektif elektroda yang luas menghasilkan hambatan listrik yang rendah di ruang perlakuan [18].

4.1. Uji User Interface

Analisis data dalam penelitian ini menggunakan metode statistika berdasarkan data kuisioner yang diberikan kepada pengguna PEF, yakni mahasiswa dan karyawan, dengan total 105 kuisioner. Data kemudian difilter untuk memisahkan data yang lengkap dan valid serta data yang tidak lengkap. Setelah pemfilteran, terdapat 95 kuisioner yang memenuhi kriteria validitas dan kemudian diolah

menggunakan metode statistika. Variabel yang diuji dalam penelitian ini terdiri dari enam kategori, yaitu: Usability, button, Convenience, Design Aesthetics, Design size, dan Quality material

Tabel 4. Rekapitulasi hasil nilai rata-rata keseluruhan pertanyaan per kategori variable

Variabel	Rata-rata
Usability	2.8
Button	2.7
Convenience	2.6
Design Aesthetics	2.8
Design size	2.6
Quality material	2.8

Tabel 4 adalah rangkuman hasil nilai rata-rata dari setiap pertanyaan dalam setiap kategori variabel yang diurutkan menggunakan metode statistika. Tabel 4 menunjukkan bahwa variabel *usability*, *design aesthetics* dan *quality material* memiliki nilai tertinggi dengan rata-rata 2.8. Selanjutnya, *button material* memiliki nilai rata-rata 2.7, diikuti oleh *convenience* dan *design size* dengan nilai rata-rata 2.6.

4.2. Uji Reduksi Bakteri

Setelah spesifikasi pulsed electric field memenuhi kriteria yang telah ditentukan sebagai pulsed electric field maka selanjutnya dilakukan pengujian dengan reduksi bakteri dengan perlakuan 1 hingga 5 kV dengan variabel bebas 10, 20, hingga 30 detik tiap masing-masing tegangan. Identifikasi dan penghitungan jumlah koloni bakteri *Vibrio cholerae* pada ikan tongkol dilakukan sesuai dengan standar (SNI 01-2332.4-2006)[19]. *Vibrio parahaemolyticus* dengan standar (SNI 01-2332.5-2006)[20] dan *Staphylococcus* SNI 2332.9 (SNI 2015)[21]. Pada pengujian pertama uji yang dilakukan ialah *Vibrio cholerae*, hasil menunjukkan tiap sampel yang dilakukan perlakuan tidak menunjukkan adanya *Vibrio cholerae* setiap 25g/sampel, hal ini menunjukkan bahwa tidak adanya pertumbuhan bakteri *Vibrio cholerae* pada hasil fillet ikan tongkol dan sesuai dengan kriteria SNI 2696:2013 yang memiliki standar (-) pada setiap 25g sampel.

Adapun uji kedua target bakteri yang dilakukan ialah *Vibrio Parahaemolyticus* dengan pengujian setiap 25 gram/ sampel maka bakteri diidentifikasi dan dihitung jumlah koloninya, Perhitungan bakteri adalah suatu cara yang digunakan untuk menghitung jumlah koloni bakteri yang tumbuh pada suatu media pembiakan. Secara mendasar ada dua cara penghitungan bakteri, yaitu secara langsung dan secara tidak langsung. Ada beberapa cara perhitungan secara langsung, antara lain adalah dengan membuat preparat dari suatu bahan (preparat sederhana diwarnai atau tidak diwarnai) dan penggunaan ruang hitung (*counting chamber*). Sedangkan perhitungan secara tidak langsung hanya mengetahui jumlah mikroorganisme pada suatu bahan yang masih hidup saja (*viable count*).

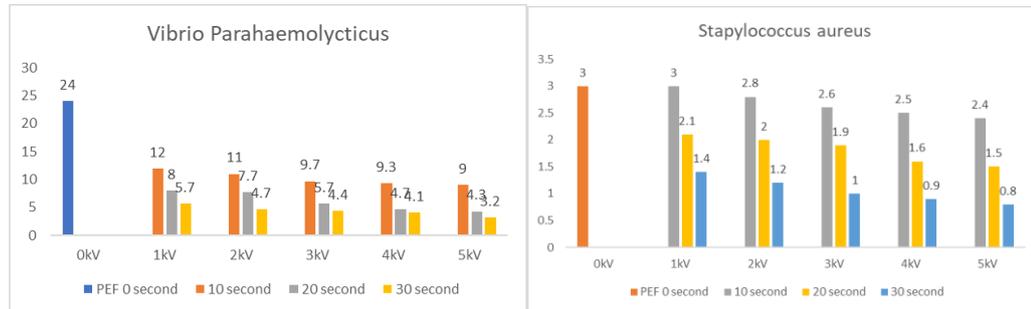


jumlah koloni yang teramati	Jumlah koloni sebenarnya atau yang diharapkan
1/10.000	5
1/1000	60
1/100	531
1/10	620

7 (a) Perhitungan koloni menggunakan colony conter (b) metode perhitungan koloni menggunakan titik bakteri monocrome

Adapun hasil yang didapatkan ditampilkan pada gambar 7. Dimana *Vibrio parahaemolyticus* merupakan bakteri halofilik (tahan garam) berjenis gram negatif yang banyak terdapat pada makanan laut terutama makanan mentah dan menyebabkan sakit perut dan mual[22]. Reduksi bakteri yang telah dilakukan maka perlakuan terbaik ada pada 5kV dengan waktu 30 detik dengan jumlah koloni 3.2×10^5 Cfu/ml, reduksi yang terjadi dari sampel kontrol 85%. hal ini tentu memenuhi kriteria standar SNI 2696:2013 produk fillet ikan tongkol pada <3 APM/g.

Uji selanjutnya ialah uji *Staphylococcus aureus*, bakteri ini dipilih dikarenakan juga memiliki kriteria halofilik (tahan garam) serta salah satu penyebab keracunan makanan. Adapun uji yang telah dilakukan menghasilkan data pada gambar 8.



Gambar. 8 Jumlah Reduksi Bakteri *V. Parahaemolyticus* dan *Staphylococcus aureus*

Perlakuan terbaik pada 5 kV dengan waktu 30 detik yang memiliki hasil 0.8×10^3 Cfu/ml dengan nilai reduksi 73%. Perlakuan medan listrik berdenyut digunakan untuk inaktivasi bakteri sebelum produk masuk ke dalam lemari es, hal ini dikarenakan selama penyimpanan di lemari es, jumlah bakteri yang tidak hanya bersifat halofilik tetapi juga psikrofilik dapat meningkat

5. KESIMPULAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa teknologi pulsed electric field berhasil menghambat pertumbuhan bakteri *Vibrio cholera*, *Vibrio parahaemolyticus* dan *Staphylococcus aureus* yang merupakan bakteri halofilik (tahan garam). Nilai variabel *usability*, *design aesthetics* dan *quality material* memiliki nilai tertinggi dengan rata-rata 2.8. Selanjutnya, *button material* memiliki nilai rata-rata 2.7, diikuti oleh *convenience* dan *design size* dengan nilai rata-rata 2.6.

REFERENSI

- [1] C. Mannozi *et al.*, "Role of thermal and electric field effects during the pre-treatment of fruit and vegetable mash by pulsed electric fields (PEF) and ohmic heating (OH)," *Innov. Food Sci. Emerg. Technol.*, vol. 48, pp. 131–137, 2018, doi: <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2018.06.004>.
- [2] S. Toepfl, C. Siemer, G. Saldaña-Navarro, and V. Heinz, "Overview of pulsed electric fields processing for food," in *Emerging technologies for food processing*, Elsevier, 2014, pp. 93–114.
- [3] M. Gavahian and A. Farahnaky, "Ohmic-assisted hydrodistillation technology: A review," *Trends Food Sci. Technol.*, vol. 72, pp. 153–161, 2018.
- [4] M. Gavahian, A. Farahnaky, K. Javidnia, and M. Majzoubi, "Comparison of ohmic-assisted hydrodistillation with traditional hydrodistillation for the extraction of essential oils from *Thymus vulgaris* L.," *Innov. Food Sci. Emerg. Technol.*, vol. 14, pp. 85–91, 2012.
- [5] R. I. Putri, I. N. Syamsiana, L. C. Hawa, and D. Meilany, "Aplikasi Mikrokontroler Pada Pembangkit Pulsa Tegangan Tinggi dengan Pengaturan Waktu Pengolahan Untuk Pasteurisasi Sari Buah Apel," *INKOM J.*, vol. 3, no. 1–2, pp. 31–40, 2010.
- [6] I. N. Anggraini, E. K. Simarmata, N. Daratha, A. Herawati, and Y. Rodiah, "Rancang Bangun Alat Pasteurisasi Non Thermal Dengan Pulsed Electric Field (PEF)," *J. Amplif. J. Ilm. Bid. Tek. Elektro Dan Komput.*, vol. 11, no. 2, pp. 8–12, 2021.
- [7] R. Wijaya *et al.*, "Penerapan Teknologi High Pulsed Electric Field (HPEF) Pada Proses Thawing Sebagai Upaya Meningkatkan Mutu Produk Ikan Kaleng Di Tefa Fish Canning Polije," *NaCosVi Polije Proc. Ser.*, pp. 154–158, 2022.
- [8] C. D. Gunawan, "Pengaruh Elektroporasi (Pef) Biji Pala Terhadap Rendemen Dan Kualitas Minyak Pala Menggunakan Teknik Destilasi Uap-Air." Universitas Brawijaya, 2018.
- [9] A. M. Ahsan, "Analisa Kebutuhan Energi PEF (Pulsed Electric Field) Sebagai Perlakuan Pendahuluan Serta Pengaruhnya Terhadap Rendemen Dan Kualitas Ekstrak Tanin Biji Pinang (*Areca Catechu* L.)." Universitas Brawijaya, 2018.
- [10] S. Toepfl, C. Siemer, and V. Heinz, "Effect of high-intensity electric field pulses on solid foods," in *Emerging technologies for food processing*, Elsevier, 2014, pp. 147–154.
- [11] A. F. Aarsal *et al.*, *Bioteknologi*. Padang: Global Eksekutif Teknologi, 2023.

- [12] D. Sugiyono, "Metode penelitian pendidikan pendekatan kuantitatif, kualitatif dan R&D," 2013.
- [13] B. S. Nasional, "Penjelasan Persyaratan Umum Instalasi Listrik tahun 2011 (PUIL 2011) Edisi 2014," *Standar Nas. Indones. (SNI), Jakarta Yayasan PUIL*, 2014.
- [14] K. Huang, L. Yu, L. Gai, and J. Wang, "Coupled simulations in colinear and coaxial continuous pulsed electric field treatment chambers," *Trans. ASABE*, vol. 56, no. 4, pp. 1473–1484, 2013.
- [15] B. S. Nasional, "SNI 7840-2012 Baja Tahan Karat (Stainless Steel) Canai Dingin Bentuk Lembaran Dan Gulungan (Bj TK D).," 2012
- [16] B. S. Nasional, "Peralatan masak (cookware) dari logam," Jakarta, 2019.
- [17] H. Bermaki, M. Ziane, A. Semmak, Y. Bellebna, H. Belhassaini, and A. Tilmatine, "Experimental analysis of monoaxial and biaxial pulsed electric field treatment chambers for food processing," *Carpathian J. Food Sci. Technol.*, vol. 9, no. 1, pp. 43–50, 2017.
- [18] F. J. Masood, H., Diao, Y., Cullen, P. J., Lee, N. A., & Trujillo, "A comparative study on the performance of three treatment chamber designs for radio frequency electric field processing," *Comput. Chem. Eng.*, vol. 108, pp. 206–216, 2018.
- [19] Badan Standarisasi Nasional, *SNI 01-2332.4-2006. Cara Uji Mikrobiologi-Bagian 4: Penentuan Vibrio cholera Pada Produk Perikanan*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional, 2006.
- [20] Badan Standarisasi Nasional, *SNI 01-2332.5-2006. Cara Uji vibrio parahaemolyticus*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional, 2006.
- [21] Badan Standarisasi Nasional, *SNI 2332.9: Cara Uji MikrobiologiBagian 9. Penentuan Staphylococcus Aureus Pada Produk Perikanan*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional, 2015.
- [22] K. A. Shiekh and S. Benjakul, "Effect of pulsed electric field treatments on melanosis and quality changes of Pacific white shrimp during refrigerated storage," *J. Food Process. Preserv.*, vol. 44, no. 1, p. e14292, 2020.