



PENERAPAN *OHMIC HEATING* SEBAGAI TEKNOLOGI ALTERNATIF PENGOLAHAN MINUMAN

Application Of Ohmic Heating Method as An Alternative Technology for Beverage Processing

Salma Salsabila Rabbani^{1*} dan Riana Listanti²

^{1,2} Program Studi Teknik Pertanian Fakultas Pertanian Universitas Jenderal Soedirman,
Purwokerto, Indonesia

Alamat koresponden: salma.rabbani@unsoed.ac.id

ABSTRAK

Latar Belakang: *Ohmic heating* merupakan alternatif pemanasan termal yang dapat digunakan untuk pengolahan produk minuman. Prinsip kerja metode *ohmic heating* dengan mengalirkan arus listrik bolak-balik melewati produk minuman dan menyebabkan ion bergerak menuju elektroda dengan muatan berlawanan sehingga produk memiliki panas internal yang rata. **Tujuan:** Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh dan mengevaluasi potensi, keunggulan dan tantangan mengenai penggunaan metode *ohmic heating* serta aplikasinya di masa mendatang. **Metode:** Pada tulisan ini, terangkum pengaruh penggunaan *ohmic heating* pada produk minuman selama tahun 2015-2025. Pada penelitian ini menggunakan variabel berupa, variasi voltase dan frekuensi yang diaplikasikan ke dalam berbagai jenis produk olahan minuman. Pada kinerja *ohmic heating*, variasi voltase dan frekuensi sangat berperan dalam pengolahan minuman. **Hasil:** Didapatkan hasil bahwa, penggunaan metode *ohmic heating* pada pengolahan produk minuman memiliki konsumsi energi yang rendah, panas yang merata (homogen), waktu yang singkat, keamanan dan kualitas produk yang meningkat. Metode *ohmic heating* mempengaruhi sifat produk minuman. Perbedaan tujuan proses pada penggunaan produk minuman seperti perebusan, pemasakan, pasteurisasi, inaktivasi mikrobiologi, sterilisasi juga dapat mempengaruhi tingkat kualitas dan keamanan produk sehingga dibutuhkan pengetahuan mengenai penerapan suhu, frekuensi, tegangan dan waktu yang tepat sesuai dengan jenis dan tujuan produk olahan minuman. Namun, aplikasi penggunaan metode *ohmic heating* masih banyak mengalami kendala seperti, biaya yang lebih tinggi membatasi penggunaan komersialnya pada skala yang lebih tinggi. Selain itu, sebagian besar penelitian yang dilakukan masih berada pada skala laboratorium dan percontohan, sedangkan pada skala pabrik masih sangat sedikit. Oleh karena itu, diperlukan lebih banyak penelitian ke dalam aplikasi *ohmic heating* dalam skala besar untuk mengevaluasi potensi masalah teknis dan ekonomi.

Kata kunci: alternatif, *ohmic heating*, pemanasan termal, teknologi pangan, pengolahan minuman



ABSTRACT

Background: Ohmic heating is an alternative thermal heating that can be used in beverage product processing. The working principle of the ohmic heating method is by flowing an alternating electric current through the beverage product and causing ions to move towards electrodes with opposite charges so that the product has an even internal heat. **Purpose:** This study aims to analyze the influence and potential emission, advantages and challenges regarding the use of the ohmic heating method and its future applications. **Method:** This paper summarizes the effect of ohmic heating on beverage products during 2015-2025. This study uses variables in the form of voltage and frequency variations applied to various types of processed beverage products. In ohmic heating performance, voltage and frequency variations play a very important role in beverage processing. **Results:** The results show that the use of ohmic heating methods in beverage product processing has low energy consumption, even (homogeneous) heat, short time, increased product safety and quality. The ohmic heating method affects the properties of beverage products. Differences in process objectives in the use of beverage products such as boiling, cooking, pasteurization, microbiological inactivation, sterilization can also affect the level of product quality and safety so that knowledge is needed regarding the application of the right temperature, frequency, voltage and time according to the type and purpose of processed beverage products. However, the application of ohmic heating methods still faces many obstacles, such as high costs that limit its commercial use at a larger scale. Furthermore, most research is still conducted at the laboratory and pilot scale, with very little research at the factory scale. Therefore, more research is needed into large-scale ohmic heating applications to evaluate potential technical and economic challenges.

Keywords: *alternative, application of food technology, beverage processing, ohmic heating, thermal heating*

PENDAHULUAN

Vitamin, nilai gizi dan nutrisi banyak dimiliki oleh produk minuman. Namun, kualitas produk minuman menurun seiring dengan berjalannya waktu karena produk mudah mengalami kerusakan dan memiliki umur simpan yang pendek. Kerusakan produk disebabkan karena adanya proses mekanis, kimia, fisik dan mikrobial. Oleh karena itu, usaha dalam mempertahankan kualitas produk olahan minuman sangat penting. Pengolahan termal secara konvensional seperti pasteurisasi, sterilisasi dan penguapan digunakan dalam menjaga keamanan produk dari mikrobiologi dalam industri minuman. Pada metode tersebut, mikroorganisme pembusuk dan patogen dinonaktifkan. Akan tetapi, hal tersebut menimbulkan efek samping yaitu penurunan kandungan vitamin dalam minuman. Kualitas minuman seperti aroma, rasa dan nilai gizi menurun



akibat pengaruh penggunaan suhu tinggi. Disamping itu, metode tersebut juga kurang efisien pada aspek kelestarian lingkungan, kebutuhan energi dan daur ulang limbah. Oleh karena itu, perlu adanya teknologi alternatif untuk memecahkan masalah tersebut.

Salah satu alternatif pemrosesan termal yang cocok digunakan dalam teknik pengolahan minuman adalah *ohmic heating* (OH). Panas yang dihasilkan pada metode ini akan dilewatkan pada arus bolak-balik melalui makanan dan minuman serta ketahanan partikelnya terhadap arus listrik (Müller *et al.*, 2020). OH memanfaatkan kemampuan bahan minuman dalam menghantarkan listrik untuk menghasilkan proses pemanasan secara langsung dengan panas yang seragam dan cepat. Produk cair dan cair-padat, dapat diproses dalam waktu singkat melalui *ohmic heating*. Arus bolak-balik yang dialirkan pada bahan makanan karena adanya hambatan listrik menghasilkan panas internal. Metode OH lebih ramah lingkungan dibandingkan dengan pemanasan konvensional karena menggunakan lebih sedikit energi. OH dapat digunakan dalam berbagai pengolahan produk minuman, seperti pasteurisasi, sterilisasi, dan ekstraksi (Kaur *et al.*, 2023). Frekuensi dan kekuatan medan listrik merupakan contoh faktor eksternal yang mempengaruhi efisiensi penggunaan metode *ohmic heating*, sedangkan faktor internal yang mempengaruhinya seperti konsentrasi gula dan pH (Kim *et al.*, 2019). Pada permukaan makanan padat atau partikel hasil metode *ohmic heating* tidak terdapat panas yang berlebih sehingga sifat sensoris makanan dan minuman dapat dipertahankan. Selain itu, metode *ohmic heating* juga memiliki keuntungan seperti, tingginya tingkat efisiensi dan rendahnya biaya perawatan. Dengan demikian, dapat dituliskan bahwa tujuan dari tulisan ini adalah untuk menganalisis pengaruh dan mengevaluasi potensi, keunggulan dan tantangan mengenai penggunaan metode *ohmic heating* serta aplikasinya di masa mendatang.

METODE

Review jurnal mengenai *ohmic heating* dilakukan dengan mengumpulkan berbagai jurnal yang berkaitan dengan metode *ohmic heating* pada minuman. Pencarian jurnal dilakukan menggunakan *science direct* dengan keyword “*ohmic heating*” dan dengan kualifikasi tahun jurnal sepuluh tahun terakhir. Kemudian, ditemukan 59 artikel terkait dan diseleksi berdasarkan jenis



produk, tujuan proses, kondisi pemanasan dan hasil penggunaan metode *ohmic heating* terhadap minuman. Berdasarkan hasil seleksi didapatkan 27 artikel terpilih yang digunakan sebagai acuan dalam penulisan review jurnal ini. Pengaruh penggunaan metode *ohmic heating* terhadap produk minuman dapat dilihat pada (Tabel 1).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Aplikasi *Ohmic Heating* pada Produk Minuman

a. Susu

Susu memiliki banyak nutrisi yang berguna menjaga kesehatan dan mencegah penyakit kronis (Voutilainen *et al.*, 2022). Protein susu, terutama protein *whey*, memiliki manfaat kesehatan seperti penambahan massa tanpa lemak (Griffen *et al.*, 2022). Kadar air yang cukup tinggi pada susu menyebabkan susu mudah terkontaminasi oleh mikroorganisme (Sitorus & Mela, 2022). Susu memiliki kondisi yang sesuai untuk pertumbuhan berbagai mikroorganisme sehingga dapat menjadi sumber patogen bawaan makanan (Mullan, 2019). Kapasitas kolonisasinya yang tinggi dan ketahanannya terhadap beberapa strategi yang digunakan dalam industri susu menjadikan *L. monocytogenes* menjadi salah satu patogen bawaan makanan yang paling umum untuk dikendalikan di lingkungan produk susu (Melero *et al.*, 2019).

Pemrosesan termal secara tradisional digunakan dalam industri susu untuk memastikan keamanan pangan dan memperpanjang umur simpan dengan menonaktifkan enzim, pembusukan, dan mikroorganisme patogen (Ahmad *et al.*, 2019). Namun, proses konvensional ini berdampak negatif pada sifat sensorik dan nutrisi produk (Hernández-Hernández *et al.*, 2019). *Ohmic heating* adalah contoh teknologi baru yang telah terbukti efektif dalam inaktivasi mikroba, selain memungkinkan pemanasan produk yang seragam, membuat proses lebih singkat, sehingga mengoptimalkan logistik di unit industri (Wu *et al.*, 2020). OH berkontribusi pada keamanan produk, memberikan inaktivasi mikroba karena kombinasi efek termal dan efek nontermal, yang disebabkan oleh adanya medan listrik yang disebut elektroporasi (Bahrami *et al.*, 2020; Cappato *et al.*, 2017). Mekanisme utama inaktivasi mikroba disebabkan oleh *ohmic heating* adalah efek termal pada membran dan enzim mikroorganisme (Tian *et al.*, 2018). Inaktivasi mikroba



disebabkan oleh *ohmic heating* disebabkan oleh elektroporasi membran sel oleh arus listrik (efek non-termal) (Sain *et al.*, 2024).

Pengolahan susu rasa vanila berprotein tinggi dilakukan di bawah kekuatan medan listrik yang berbeda dari ohmic heating (5,22 V/cm; 6,96 V/cm; 8,70 V/cm; dan 10,43 V/cm) dengan mengevaluasi konsumsi energi, parameter pemrosesan, dan aspek mikrobiologi, rheologi, dan biologis yang dibandingkan dengan sampel yang dikirim ke pasteurisasi konvensional (PAST, 72 °C/15s). *Ohmic heating* menghasilkan pengeluaran energi yang lebih rendah dan inaktivasi mikroba yang lebih signifikan dari bakteri asam laktat, jamur dan ragi, total mesofil, dan psikotropika. OH pada kekuatan medan listrik 6,96 V/cm, meningkatkan aktivitas anti diabetes, anti-oksidan, dan anti-hipertensi serta sifat reologi, dan menghasilkan kandungan hidroksimetilfurfural yang lebih rendah, dan indeks nitrogen protein whey yang lebih tinggi. OH merupakan teknologi yang dapat digunakan pada susu beraroma dengan kandungan protein tinggi, direkomendasikan kuat medan listrik sebesar 6,96 V/cm (Rocha *et al.*, 2022).

Pada susu *whey* rasa acerola dilakukan pemrosesan termal dengan metode OH dengan kondisi pemanasan 60, 90, 120, 150 V, yang sesuai dengan 6, 9, 12, 15 V/cm dengan variasi frekuensi 500, 1000, 1500, dan 2000 Hz. Didapatkan hasil pada gradien voltase (120 dan 150 V) dan frekuensi (1500 dan 2000 Hz) kadar kesukaan keseluruhan yang lebih tinggi, terkait dengan konsep inovasi, dan karakteristik sensorik yang sesuai seperti rasa manis, warna acerola, kesegaran, aroma acerola dan rasa acerola. Pada gradien tegangan rendah (60 dan 90 V) dan frekuensi (500 dan 1000 Hz) produk memiliki penerimaan yang lebih rendah (6,14–7,40 dalam skala 9 poin), tetapi masih lebih tinggi daripada produk konvensional (Coimbra *et al.*, 2020).

Pada penelitian (Pereira *et al.*, 2020), dilakukan inaktivasi *Listeria monocytogenes* dalam minuman susu *whey* yang diproses dengan *ohmic heating* (OH, 3 V/cm, 57,5–60 °C selama 38-4 menit). OH pada suhu 65 °C menghasilkan laju reduksi sebesar 2,10 log CFU/mL–1min–1 sedangkan pemrosesan konvensional menghasilkan laju reduksi sebesar 1,38 log CFU/mL–1min–1 dari *Listeria monocytogenes*.

Menurut (Suebsiri *et al.*, 2019), dilakukan pasteurisasi pada susu normal dan susu bebas laktosa pada suhu 63 °C selama 30 menit secara konvensional dan dibandingkan dengan metode *ohmic heating* dengan kekuatan medan listrik berkisar antara 11-13 V/cm. Tingkat efisiensi



pemanasan susu dengan metode *ohmic heating* didapatkan pada konduktivitas listrik kisaran 0,635-1,230 S/m. Hasil tes alkali fosfatase menunjukkan bahwa sampel susu yang dipanaskan secara konvensional dan *ohmic heating* mengkonfirmasi bahwa penerapan metode ohmik memberikan efek yang sebanding dengan metode pemanasan konvensional. Metode ohmik memiliki potensi untuk diterapkan dalam pasteurisasi susu bebas laktosa.

b. Aneka Jus Buah

1. Jus Jeruk

Manfaat pengolahan makanan dan minuman secara termal sangat luas. Pasteurisasi dan sterilisasi merupakan pemanasan ke suhu proses untuk mencapai kematian target yang diinginkan dan kemudian pendinginan ke suhu penyimpanan sehingga dapat memberikan keamanan pangan dan meningkatkan umur simpan. Namun, proses seperti itu juga memiliki efek merusak pada gizi dan kualitas sensorik (Sadler *et al.*, 2021). Jeruk dikenal sebagai salah satu buah yang kaya vitamin C. Seiring dengan berjalannya waktu jus jeruk mengalami penurunan kualitas yang merugikan pada karakteristik kualitas jus jeruk seperti kekeruhan, rasa, aroma, dan warna.

Ohmic heating dapat digunakan untuk menghindari kehilangan kualitas pada jus jeruk. Selain itu, *ohmic heating* juga dapat digunakan untuk menentukan rasio total kandungan padatan terlarut yang paling baik. Pada *ohmic heating*, frekuensi dan kekuatan medan listrik merupakan parameter utama yang mempengaruhi laju pemanasan, inaktivasi mikroorganisme, dan degradasi nutrisi (Tian *et al.*, 2018). OH pada 80 °C selama 10 detik menghambat lebih dari 5 log *Lactobacillus plantarum*, mikroorganisme yang paling tahan panas dan mengurangi 90 % aktivitas PME, artinya OH berguna untuk inaktivasi mikroorganisme dan enzim pada sari buah jeruk bali (Doan *et al.*, 2021).

Pada penelitian (Funcia *et al.*, 2020), studi ini mengevaluasi efek medan listrik bolak-balik pada aktivitas pektin esterase dalam sampel jus jeruk navel 5 mL yang dikenai pasteurisasi ohmik. Kondisinya adalah 60 Hz, 32–36 V/cm, menahan suhu 60–90 °C, menahan waktu 0–200 detik dalam sel khusus dengan pengadukan, dan dua elektroda Ti-Pt. Maka dihasilkan daya hambat pektin esterase lebih tinggi dibandingkan dengan metode konvensional.



Ohmic heating (150, 200, dan 250 V; 120 detik; 99,4 °C) dan pemanasan konvensional (90 °C; 15 menit) untuk inaktivasi *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, *Salmonella enterica* subsp. *enterica* serovar *Paratyphi A*, *Salmonella Typhi*, *Shigella dysenteriae*, dan *Shigella flexneri* dalam campuran jus jeruk (lemon manis dan jeruk). Berdasarkan evaluasi kenaikan suhu, peningkatan tegangan yang diberikan dari 150 menjadi 250 V dapat mengurangi waktu inaktivasi sekitar 20-30% untuk patogen yang diteliti. Tingkat inaktivasi patogen selama proses *ohmic heating* maksimum untuk *S. aureus*, diikuti oleh *E. coli*, *S. enterica* subsp. *enterica* serovar *Paratyphi A*, *S. Typhi*, *S. dysenteriae* dan *S. flexneri*. Kesimpulannya, pemodelan numerik yang dikembangkan dapat dengan mudah diterapkan untuk mensimulasikan dan memprediksi *ohmic heating* untuk inaktivasi bakteri patogen (Hashemi & Roohi, 2019).

Menurut penelitian (Doan *et al.*, 2021), penelitian ini menyelidiki pengaruh frekuensi dan kuat medan listrik selama OH terhadap parameter kimia dan kandungan senyawa bioaktif jus jeruk bali, antara lain asam askorbat (AA), asam sitrat (CA), naringin, limonin, kandungan polifenol total (TPC), dan kapasitas antioksidan. Frekuensi secara signifikan mempengaruhi degradasi AA, yang menentukan aktivitas antioksidan. Kekuatan medan listrik menyebabkan penurunan AA, TPC, dan aktivitas antioksidan yang signifikan pada kekuatan medan listrik rendah (20 V/cm). Degradasi senyawa serupa untuk OH pada 30 V/cm dan 60 Hz. Ini berarti bahwa medan listrik tidak mempengaruhi degradasi senyawa ini selama OH jika jus dipanaskan pada perkiraan parameter tersebut. Oleh karena itu, OH dapat diusulkan sebagai metode yang efektif untuk mempasteurisasi jus jeruk bali.

Pada penelitian (Stojceska *et al.*, 2019), OH digunakan untuk pengeringan pada *pulp* jeruk bali dengan konduktivitas listrik 30 V/cm. Pada penelitian tersebut didapatkan hasil bahwa vitamin C dan pH tidak berbeda secara signifikan antara *ohmic heating* dan dehidrasi termal. Sementara itu, pada penelitian (Sabanci & Icier, 2022), OH digunakan untuk tujuan mendapatkan konsentrasi jus jeruk yang diinginkan dengan konduktivitas listrik 13 V/cm dan frekuensi 50 Hz. Pada penelitian tersebut didapatkan hasil bahwa perlakuan *ohmic heating* di bawah vakum menghasilkan retensi vitamin C yang lebih baik dan perubahan warna yang lebih sedikit, dibandingkan dengan perlakuan di bawah kondisi atmosfer.



2. Jus Tomat

Tomat memiliki kandungan vitamin yang tinggi. Berbagai macam produk olahan tomat seperti jus, saus tomat, pasta, bubur, saus tersedia di seluruh dunia (Klunklin & Savage, 2017). *Escherichia coli* O157:H7, *Salmonella Typhimurium*, dan *Listeria monocytogenes* adalah patogen penting yang bisa menyebabkan penyakit serius. Jus buah dan sayuran juga telah dilaporkan sebagai sumber pembawa wabah penyakit meskipun memiliki nilai pH yang rendah (Figueroa-Ducoing *et al.*, 2022). Pemrosesan termal adalah metode yang paling umum digunakan untuk mencapai 5-log pengurangan mikroorganisme di jus. Apabila menggunakan metode pemanasan konvensional maka akan berkurang kualitas gizi dan rasa jus dan dapat menghasilkan senyawa *off-flavor* yang tidak diinginkan. Oleh karena itu, industri jus telah mengeksplorasi metode pemrosesan alternatif salah satunya yaitu metode *ohmic heating*.

Pada penelitian (Fadavi *et al.*, 2018), OH digunakan untuk tujuan mendapatkan konsentrasi jus tomat dengan konduktivitas listrik 10.5, 13.2, and 15.8 V/cm dan frekuensi 50 Hz. Berdasarkan penelitian tersebut didapatkan hasil bahwa *ohmic heating* menyebabkan sedikit perubahan pada sifat jus tomat (keasaman, kekeruhan, dan likopen) yang bahkan kurang terlihat saat menggunakan vakum.

Pemanasan OH kontinu dalam air pepton *buffer* (BPW) untuk menghilangkan bakteri *E. coli* O157:H7, *Salmonella Typhimurium*, *Listeria monocytogenes* yang ada pada jus tomat. Pada penelitian tersebut digunakan variasi BPW yang diinokulasi dengan ketiga patogen tersebut dengan laju alir dan tegangan masing-masing, 0,2–0,4 LPM dan 9,43–12,14 Vrms/cm. Didapatkan hasil bahwa OH kontinu berurutan mampu mengurangi 5-log pada semua bakteri (S. S. Kim *et al.*, 2018). Menurut penelitian (Makroo *et al.*, 2017), OH dapat digunakan untuk inaktivasi enzim *Polygalacturonase* dan *Pectin methyl esterase* dengan konduktivitas listrik 24 V/cm, 90 °C, selama 15, 30, 45 dan 60 detik. Didapatkan hasil bahwa metode OH merupakan alternatif yang efisien untuk metode konvensional inaktivasi enzim dalam jus tomat. Sedangkan berdasarkan (Park *et al.*, 2017), OH dapat digunakan untuk menghilangkan bakteri *S. Typhimurium* dan *L. monocytogenes*. Adapun konduktivitas listrik yang digunakan sebesar 13.4 V/cm, 60 – 63 °C, selama 190 – 250 detik. Pengaruh dari perlakuan OH adalah terjadi 5-log pengurangan populasi bakteri.



3. Jus Apel, Ceri, Melon, Murbei dan Wortel

Buah segar memiliki sifat yang cepat rusak setelah dipanen. Oleh karena itu, sangat penting untuk mengolah dan mengubahnya menjadi produk yang memiliki umur simpan lebih lama. Salah satu caranya adalah dengan memekatkan jus buah dengan pemanasan konvensional. Namun, metode tersebut dapat merusak kualitas makanan karena koefisien perpindahan panas yang rendah dan waktu pemrosesan yang lama. Metode alternatif yang dapat digunakan untuk memekatkan jus buah adalah *ohmic heating*. Jus buah memiliki konduktivitas listrik yang tinggi, sehingga cocok untuk menggunakan teknologi *ohmic heating*.

OH untuk menghilangkan bakteri Spora *Alicyclobacillus* yang ada pada jus apel. Spora *Alicyclobacillus acidoterrestris*, bakteri pembusuk, menyebabkan masalah bagi industri jus apel karena mereka tahan terhadap perlakuan panas. Produk jus apel (50 kg) diinokulasi dengan spora *A. acidoterrestris* dikenai OH (kekuatan medan listrik = 26,7 V/cm; frekuensi = 25 kHz) pada 85–100 °C selama 30–90 detik). Hasilnya terjadi inaktivasi total pada spora *Alicyclobacillus acidoterrestris* dalam jus apel (Kim *et al.*, 2017).

Berdasarkan penelitian (Abedelmaksoud *et al.*, 2018), dilakukan penelitian pada jus apel yang diberi perlakuan *ohmic heating* dengan konduktivitas listrik 30, 35 dan 40 V/cm, frekuensi 60 Hz; dan suhu 60, 70, 80°C. Pengaruh dari perlakuan tersebut adalah hilangnya kandungan asam askorbat dan karotenoid dari sampel yang diberi perlakuan ohmik lebih sedikit daripada sampel yang diberi perlakuan konvensional.

Jus wortel dipanaskan secara ohmik dengan arus bolak-balik dengan frekuensi 60 kHz dan voltase yang diatur oleh relai daya (120 V/cm). Sampel dipanaskan secara ohmik dari 15 hingga 80°C, dan kemudian suhu dijaga konstan pada $80 \pm 1^\circ\text{C}$ selama 7 menit. Pengaruh dari perlakuan tersebut terhadap parameter fisikokimia dan kromatik, inaktivasi enzim dan mikrobiologi, senyawa volatil, kapasitas antioksidan, kandungan karoten, dan karakteristik sensorik, dibandingkan dengan jus kontrol. Perbedaan signifikan diperoleh pada parameter L^* , aktivitas polifenol oksidase dan kapasitas antioksidan total. Jus yang diberi perlakuan OH menunjukkan preferensi warna yang lebih besar ($p < 0,05$) oleh panelis semi-terlatih dan tingkat penerimaan yang tinggi di kalangan konsumen sesuai dengan “sangat suka” (Rodríguez *et al.*, 2021).



Pada penelitian (Norouzi *et al.*, 2021), metode *ohmic heating* digunakan untuk menentukan konsentrasi jus ceri sesuai yang diinginkan. Jus ceri diberikan perlakuan OH dengan konduktivitas listrik pada tingkat tegangan 30–50 V berkisar antara 0,70 hingga 2,52 S/m. *Ohmic heating* meningkatkan kekeruhan asam jus ceri dibandingkan dengan metode konvensional masih lebih rendah dari kekeruhan awal. Tegangan yang berbeda tidak memiliki pengaruh yang signifikan pada parameter warna seperti "L" (*lightness*) dan "b" (kebiruan/kekuningan). Pemanfaatan OH pada penentuan konsentrasi jus juga dilakukan pada jus murbei hitam. Berdasarkan penelitian (Darvishi *et al.*, 2020), jus murbei hitam diberikan perlakuan OH dengan konduktivitas listrik 15, 20, 25, dan 30 V/cm –pada frekuensi 50 Hz. *Ohmic heating* memberikan konsentrasi yang lebih besar daripada metode konvensional (sekitar 38–46 %), mengurangi waktu proses dan menghasilkan lebih sedikit perubahan total fenol dan pH. Penggunaan OH juga dilakukan untuk pasteurisasi jus melon dengan tegangan 100 dan 200 V. Tegangan yang lebih tinggi mengakibatkan berkurangnya jumlah patogen dan kandungan vitamin C, karoten, serta senyawa fenolik yang lebih rendah (Hashemi *et al.*, 2019).

Tabel 1. Pengaruh penggunaan metode *ohmic heating* terhadap produk minuman

Produk	Tujuan Proses	Kondisi Pemanasan	Hasil	Ref.
Jus Apel dan Cranberry	Menonaktifkan spora <i>Alicyclobacillus acidoterrestres</i>	30, 40, 50 V/cm, 100-110 °C	Inaktivasi <i>A. acidoterrestres</i> tercepat diperoleh pada perlakuan tanpa periode penahanan, terutama ketika kekuatan medan dan suhu tinggi digunakan secara bersamaan untuk mencapai titik setel akhir, peningkatan kualitas jus	(Singh <i>et al.</i> , 2025)
Jus Jeruk Mandarin	Pasteurisasi	85 °C; 120, 160, dan 200 V ; 240, 180, dan 100 detik	Penurunan 5 logaritma alami mikroorganisme dan stabil secara enzimatis (>99% inaktivasi PPO, POD, dan PME), menunjukkan umur simpan 42 dan 15 hari masing-masing dalam kondisi pendingin dan ruang	(Basak <i>et al.</i> , 2024)
Jus Lidah Buaya	Inaktivasi enzim	0,15, 0,25, 0,5 V; 24–25, 19–20 dan 21°C selama 3, 5, 10 menit	OH dapat menonaktifkan enzim dan kurangi kekeruhan pada jus lidah buaya, sehingga menjaga kualitas	(Bansode <i>et al.</i> , 2019)



			jus selama penyimpanan selama 60 hari.	
Minuman Rasa Raspberry	Pemanasan termal	10, 100, dan 1000 Hz – 25 V dan 45, 60, dan 80 V – 60 Hz	Kondisi <i>ohmic heating</i> yang ekstrim menyebabkan aktivitas antioksidan terendah, dibandingkan dengan kondisi ringan dan sedang; sampel yang diberi perlakuan <i>ohmic heating</i> menunjukkan penghambatan α -glukosidase dan α -amilase yang lebih tinggi, serta viskositas yang lebih tinggi, daripada minuman yang diolah secara konvensional; sampel yang diberi perlakuan 10 Hz menunjukkan lebih banyak perubahan warna.	(Ferreira <i>et al.</i> , 2019)
Nektar Stroberi	Mengawetkan aroma dan senyawa fenolik	60 kW, 1 – 5 kV, 25 kHz, 20 °C	Meningkatkan kandungan senyawa fenolik, pengawetan fenolik yang lebih baik dibandingkan dengan pasteurisasi tradisional	(Pavón-Vargas <i>et al.</i> , 2025)
Sari Tebu	Pasteurisasi	60 Hz	<i>Ohmic heating</i> dan ultrasound tidak memengaruhi senyawa fenolik yang kandungannya mirip dengan jus segar; hanya sedikit perubahan warna yang disebabkan oleh <i>ohmic heating</i> .	(Rodriguez <i>et al.</i> , 2021)
Susu	Inaktivasi bakteri dan mekanisme bakterisida	70 V _{rms} ; 0,06, 0,1, 1, atau 10 kHz	Pulse <i>ohmic heating</i> frekuensi rendah menghasilkan inaktivasi bakteri yang tinggi	(Cho & Kang, 2025) (Cho & Kang, 2025)
Susu Oat	Pemanasan termal	20 -75 °C; 0–360 V; 50 Hz; 12, 15, dan 18 V/cm	karakteristik kualitas susu oat seperti warna dan kandungan fenolik total lebih terjaga dalam susu yang diperoleh melalui proses OH dibandingkan proses pemanasan konvensional, memiliki viskositas semu yang lebih tinggi pada semua suhu.	(Ak <i>et al.</i> , 2024)
Susu Cokelat	Pemanasan termal	30 dan 60 V, frekuensi 100, 300, dan 500 Hz	reduksi mikroba yang unggul dan penurunan indikator beban termal serta penilaian bioaktivitas, menjaga stabilitas kimia GOS pada	(Silva <i>et al.</i> , 2024)



			pengolahan minuman susu coklat dengan efek positif pada parameter kualitas intrinsik produk.	
Susu Domba	Pemanasan termal	4, 7 dan 10 V/cm; 0-220 V; 60 Hz	peningkatan aktivitas antioksidan, antidiabetik, antihipertensi, dan kandungan riboflavin	(Balthazar <i>et al.</i> , 2024)

SIMPULAN

Ohmic heating sebagai salah satu alternatif pemanasan termal diterapkan pada aplikasi pengolahan minuman memiliki potensi yang besar. Metode ini sangat dipengaruhi oleh sifat minuman. Selain itu, variasi frekuensi dan voltase juga memainkan peran penting dalam kinerja *ohmic heating* selama pemrosesan minuman. Pengolahan produk minuman dengan *ohmic heating* dapat dilakukan dalam waktu yang lebih singkat dibandingkan dengan pemanasan konvensional. Selain itu, kualitas produk minuman dapat dipengaruhi secara efektif oleh metode *ohmic heating* melalui dampak termal dan non-termal. Proses *ohmic heating* memiliki retensi kualitas nutrisi yang lebih baik dan efisiensi energi yang tinggi. *Ohmic heating* memiliki prospek untuk menjadi teknologi pengolahan minuman di masa depan. Namun, biaya yang lebih tinggi membatasi penggunaan komersialnya pada skala yang lebih tinggi. Penelitian yang telah dilakukan sebagian besar berada pada skala laboratorium dan percontohan pada skala pabrik masih sangat sedikit. Oleh karena itu, diperlukan lebih banyak penelitian ke dalam aplikasi *ohmic heating* dalam skala besar untuk mengevaluasi potensi masalah teknis dan ekonomi.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdelmaksoud, T. G., Mohsen, S. M., Duedahl-Olesen, L., Elnikeety, M. M., & Feyissa, A. H. (2018). Optimization of ohmic heating parameters for polyphenoloxidase inactivation in not-from-concentrate elstar apple juice using RSM. *Journal of Food Science and Technology*, 55(7), 2420–2428. <https://doi.org/10.1007/s13197-018-3159-1>
- Ahmad, T., Butt, M. Z., Aadil, R. M., Inam-ur-Raheem, M., Abdullah, Bekhit, A. E. D., Guimarães, J. T., Balthazar, C. F., Rocha, R. S., Esmerino, E. A., Freitas, M. Q., Silva, M. C., Sameen, A., & Cruz, A. G. (2019). Impact of nonthermal processing on different milk enzymes. *International Journal of Dairy Technology*, 72(4), 481–495. <https://doi.org/10.1111/1471-0307.12622>



- Ak, F., Karakavuk, E., Goksu, A., & Sabancı, S. (2024). An innovative approach in oat milk production: Ohmic heating. *Food and Bioproducts Processing*, 148(July), 421–427. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2024.10.011>
- Bahrami, A., Moaddabdoost Baboli, Z., Schimmel, K., Jafari, S. M., & Williams, L. (2020). Efficiency of novel processing technologies for the control of *Listeria monocytogenes* in food products. *Trends in Food Science and Technology*, 96(October 2019), 61–78. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.12.009>
- Balthazar, C. F., Teixeira, S., Bertolo, M. R. V., Ranadheera, C. S., Raices, R. S. L., Russo, P., Spano, G., Junior, S. B., Cruz, A. G., & Sant'Ana, A. S. (2024). Functional benefits of probiotic fermented dairy drink elaborated with sheep milk processed by ohmic heating. *Food Bioscience*, 59(March), 103781. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2024.103781>
- Bansode, S., Ranveer, R. C., Tapre, A. R., Ganorkar, P. M., Sadale, S. B., & Sahoo, A. K. (2019). Enzymatic Clarification and Preservation of Aloe vera Juice by Ohmic Heating. *Current Journal of Applied Science and Technology*, June, 1–9. <https://doi.org/10.9734/cjast/2019/v35i630204>
- Basak, S., Thakur, P., & Chakraborty, S. (2024). Pasteurization of mandarin juice by ohmic heating and evaluation of its shelf-life under refrigerated and ambient conditions. *Sustainable Food Technology*, 3(1), 239–252. <https://doi.org/10.1039/d4fb00267a>
- Cappato, L. P., Ferreira, M. V. S., Guimaraes, J. T., Portela, J. B., Costa, A. L. R., Freitas, M. Q., Cunha, R. L., Oliveira, C. A. F., Mercali, G. D., Marzack, L. D. F., & Cruz, A. G. (2017). Ohmic heating in dairy processing: Relevant aspects for safety and quality. *Trends in Food Science and Technology*, 62, 104–112. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.01.010>
- Cho, E., & Kang, D. (2025). Bacterial inactivation and bactericidal mechanisms of pulsed ohmic heating against foodborne pathogens in milk depending on the applied frequency. *Journal of Food Engineering*, 403(July 2025), 112729. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2025.112729>
- Coimbra, L. O., Vidal, V. A. S., Silva, R., Rocha, R. S., Guimarães, J. T., Balthazar, C. F., Pimentel, T. C., Silva, M. C., Granato, D., Freitas, M. Q., Pollonio, M. A. R., Esmerino, E. A., & Cruz, A. G. (2020). Are ohmic heating-treated whey dairy beverages an innovation? Insights of the Q methodology. *Lwt*, 134(July). <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110052>
- Darvishi, H., Salami, P., Fadavi, A., & Saba, M. K. (2020). Processing kinetics, quality and thermodynamic evaluation of mulberry juice concentration process using Ohmic heating. *Food and Bioproducts Processing*, 123, 102–110. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2020.06.003>
- Doan, N. K., Lai, Q. D., Le, T. K. P., & Le, N. T. (2021). Influences of AC frequency and electric field strength on changes in bioactive compounds in Ohmic heating of pomelo juice.



Innovative Food Science and Emerging Technologies, 72(July), 102754.
<https://doi.org/10.1016/j.ifset.2021.102754>

- Fadavi, A., Yousefi, S., Darvishi, H., & Mirsaeedghazi, H. (2018). Comparative study of ohmic vacuum, ohmic, and conventional-vacuum heating methods on the quality of tomato concentrate. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 47(March), 225–230. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2018.03.004>
- Ferreira, M. V. S., Cappato, L. P., Silva, R., Rocha, R. S., Neto, R. P. C., Tavares, M. I. B., Esmerino, E. A., Freitas, M. Q., Bissagio, R. C., Ranadheera, S., Raices, R. S. L., Silva, M. C., & Cruz, A. G. (2019). Processing raspberry-flavored whey drink using ohmic heating: Physical, thermal and microstructural considerations. *Food Research International*, 123(February), 20–26. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.04.045>
- Figuerola-Ducoing, B. K., Carrillo-Sanchez, A. K., Rivera-Gutierrez, S., Rios-Muñiz, D., Estrada-Garcia, T., & Cerna-Cortes, J. F. (2022). In Mexico City, fresh-squeezed street-vended orange juice is contaminated with fecal coliforms, *Escherichia coli*, and Shiga toxin-producing *E. coli*: A potential risk for acquiring foodborne diseases. *Food Science and Technology (Brazil)*, 42, 1–6. <https://doi.org/10.1590/fst.52022>
- Funcia, E. S., Gut, J. A. W., & Sastry, S. K. (2020). Effect of Electric Field on Pectinesterase Inactivation During Orange Juice Pasteurization by Ohmic Heating. *Food and Bioprocess Technology*, 13(7), 1206–1214. <https://doi.org/10.1007/s11947-020-02478-x>
- Griffen, C., Duncan, M., Hattersley, J., Weickert, M. O., Dallaway, A., & Renshaw, D. (2022). Effects of resistance exercise and whey protein supplementation on skeletal muscle strength, mass, physical function, and hormonal and inflammatory biomarkers in healthy active older men: a randomised, double-blind, placebo-controlled trial. *Experimental Gerontology*, 158(September 2021), 111651. <https://doi.org/10.1016/j.exger.2021.111651>
- Hashemi, S. M. B., Gholamhosseinpour, A., & Niakousari, M. (2019). Application of microwave and ohmic heating for pasteurization of cantaloupe juice: microbial inactivation and chemical properties. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 99(9), 4276–4286. <https://doi.org/10.1002/jsfa.9660>
- Hashemi, S. M. B., & Roohi, R. (2019). Ohmic heating of blended citrus juice: Numerical modeling of process and bacterial inactivation kinetics. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 52(December 2018), 313–324. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2019.01.012>
- Hernández-Hernández, H. M., Moreno-Vilet, L., & Villanueva-Rodríguez, S. J. (2019). Current status of emerging food processing technologies in Latin America: Novel non-thermal processing. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 58(October), 102233. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2019.102233>



- Kaur, M., Kumar, S., & Samota, M. K. (2023). Ohmic heating technology systems, factors governing efficiency and its application to inactivation of pathogenic microbial, enzyme inactivation, and extraction of juice, oil, and bioactive compounds in the food sector. *Food and Bioprocess Technology*, 17(2), 1–26. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1007/s11947-023-03126-w>
- Kim, N. H., Ryang, J. H., Lee, B. S., Kim, C. T., & Rhee, M. S. (2017). Continuous ohmic heating of commercially processed apple juice using five sequential electric fields results in rapid inactivation of *Alicyclobacillus acidoterrestris* spores. *International Journal of Food Microbiology*, 246, 80–84. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2017.01.002>
- Kim, S. S., Park, S. H., & Kang, D. H. (2018). Application of continuous-type pulsed ohmic heating system for inactivation of foodborne pathogens in buffered peptone water and tomato juice. *Lwt*, 93(March), 316–322. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.03.032>
- Kim, S. S., Park, S. H., Kim, S. H., & Kang, D. H. (2019). Synergistic effect of ohmic heating and UV-C irradiation for inactivation of *Escherichia coli* O157:H7, *Salmonella* Typhimurium and *Listeria monocytogenes* in buffered peptone water and tomato juice. *Food Control*, 102(November 2018), 69–75. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2019.03.011>
- Klunklin, W., & Savage, G. (2017). Effect on quality characteristics of tomatoes grown under well-watered and drought stress conditions. *Foods*, 6(8), 1–10. <https://doi.org/10.3390/foods6080056>
- Makroo, H. A., Rastogi, N. K., & Srivastava, B. (2017). Enzyme inactivation of tomato juice by ohmic heating and its effects on physico-chemical characteristics of concentrated tomato paste. *Journal of Food Process Engineering*, 40(3), 1–10. <https://doi.org/10.1111/jfpe.12464>
- Melero, B., Stessl, B., Manso, B., Wagner, M., Esteban-Carbonero, Ó. J., Hernández, M., Rovira, J., & Rodriguez-Lázaro, D. (2019). *Listeria monocytogenes* colonization in a newly established dairy processing facility. *International Journal of Food Microbiology*, 289(September 2018), 64–71. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2018.09.003>
- Mullan, W. M. A. (2019). Are we closer to understanding why viable cells of *Mycobacterium avium* subsp. *paratuberculosis* are still being reported in pasteurised milk? *International Journal of Dairy Technology*, 72(3), 332–344. <https://doi.org/10.1111/1471-0307.12617>
- Müller, W. A., Ferreira Marczak, L. D., & Sarkis, J. R. (2020). Microbial inactivation by ohmic heating: Literature review and influence of different process variables. *Trends in Food Science and Technology*, 99(March), 650–659. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.03.021>
- Norouzi, S., Fadavi, A., & Darvishi, H. (2021). The ohmic and conventional heating methods in concentration of sour cherry juice: Quality and engineering factors. *Journal of Food*



Engineering, 291(May 2020), 110242. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2020.110242>

- Park, I. K., Ha, J. W., & Kang, D. H. (2017). Investigation of optimum ohmic heating conditions for inactivation of *Escherichia coli* O157:H7, *Salmonella enterica* serovar Typhimurium, and *Listeria monocytogenes* in apple juice. *BMC Microbiology*, 17(1), 1–8. <https://doi.org/10.1186/s12866-017-1029-z>
- Pavón-Vargas, D., Simkova, K., Puzović, A., Moreno-Barreto, A., Gėdas, A., Murray, H., Rabeeah, I., Rincon-Bermeo, J. S., Anh Truong, N. Q., Zavarise, A., Zia, H., Sandei, L., Rinaldi, M., Georgé, S., Gozzi, M., Gössinger, M., Guski, S., Humel, S., Jakopic, J., ... Cattani, L. (2025). Comparative Analysis of Aroma and Phenolic Compounds in Strawberry Nectar Subjected to Equivalent Thermal, Ohmic Heating, High Pressure, and Pulsed Electric Fields Processes at Pilot Scale. *Lwt*, 228(June), 118066. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2025.118066>
- Pereira, M. O., Guimarães, J. T., Ramos, G. L. P. A., do Prado-Silva, L., Nascimento, J. S., Sant'Ana, A. S., Franco, R. M., & Cruz, A. G. (2020). Inactivation kinetics of *Listeria monocytogenes* in whey dairy beverage processed with ohmic heating. *Lwt*, 127(April), 109420. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109420>
- Rocha, R. S., Silva, R., Ramos, G. L. P., Cabral, L. A., Pimentel, T. C., Campelo, P. H., Blumer Zacarchenco, P., Freitas, M. Q., Esmerino, E. A., Silva, M. C., & Cruz, A. G. (2022). Ohmic heating treatment in high-protein vanilla flavored milk: Quality, processing factors, and biological activity. *Food Research International*, 161(June). <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2022.111827>
- Rodrigues, N. P., Brochier, B., de Medeiros, J. K., Marczak, L. D. F., & Mercali, G. D. (2021). Phenolic profile of sugarcane juice: Effects of harvest season and processing by ohmic heating and ultrasound. *Food Chemistry*, 347(January), 129058. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.129058>
- Rodríguez, L. M. N., Arias, R., Soteras, T., Sancho, A., Pesquero, N., Rossetti, L., Tacca, H., Aimaretti, N., Rojas Cervantes, M. L., & Szerman, N. (2021). Comparison of the quality attributes of carrot juice pasteurized by ohmic heating and conventional heat treatment. *Lwt*, 145(November 2020). <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111255>
- Sabanci, S., & Icier, F. (2022). Evaluation of an ohmic assisted vacuum evaporation process for orange juice pulp. *Food and Bioprocess Processing*, 131, 156–163. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2021.09.009>
- Sadler, C. R., Grassby, T., Hart, K., Raats, M., Sokolović, M., & Timotijevic, L. (2021). Processed food classification: Conceptualisation and challenges. *Trends in Food Science and Technology*, 112(February 2020), 149–162. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.02.059>



- Sain, M., Minz, P. S., John, H., & Singh, A. (2024). Effect of Ohmic Heating on Food Products: An In-Depth Review Approach Associated with Quality Attributes. *Journal of Food Processing and Preservation*, 2024(Figure 1). <https://doi.org/10.1155/2024/2025937>
- Silva, R., Rocha, R. S., Ferreira, M. V. S., Ramos, G. L. P. A., Arruda, H. S., Borsoi, F. T., Maria Pastore, G., Freitas, M. Q., & Cruz, A. G. (2024). Evaluating the galactooligosaccharide stability in chocolate milk beverage submitted to ohmic heating. *Food Research International*, 188(March), 114429. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2024.114429>
- Singh, S. K., Çokgezme, Ö. F., Ali, M. M., Yousef, A. E., Balasubramaniam, V. M., & Sastry, S. (2025). Ohmic heating inactivation of Alicyclobacillus acidoterrestris spores in apple and cranberry juice. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 102(March). <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2025.104010>
- Sitorus, E. M., & Mela, E. (2022). Pengendalian Mutu Statistik Susu Ultra High Temperature (UHT) di PT XYZ. *Indonesian Journal of Food Technology*, 1(1), 24–45.
- Stojceska, V., Atuonwu, J., & Tassou, S. A. (2019). Ohmic and conventional drying of citrus products: Energy efficiency, greenhouse gas emissions and nutritional properties. *Energy Procedia*, 161, 165–173. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2019.02.076>
- Suebsiri, N., Kokilakanistha, P., Laojaruwat, T., Tumpanuvat, T., & Jittanit, W. (2019). The application of ohmic heating in lactose-free milk pasteurization in comparison with conventional heating, the metal contamination and the ice cream products. *Journal of Food Engineering*, 262(November 2018), 39–48. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2019.05.017>
- Tian, X., Yu, Q., Wu, W., & Dai, R. (2018). Inactivation of microorganisms in foods by ohmic heating: A review. *Journal of Food Protection*, 81(7), 1093–1107. <https://doi.org/10.4315/0362-028X.JFP-17-343>
- Voutilainen, E. K., Hantunen, S., Ruusunen, A., Tuomainen, T. P., & Virtanen, J. K. (2022). Associations of fermented and non-fermented dairy consumption with serum C-reactive protein concentrations – A cross-sectional analysis. *Clinical Nutrition ESPEN*, 48, 401–407. <https://doi.org/10.1016/j.clnesp.2022.01.011>
- Wu, D., Forghani, F., Daliri, E. B. M., Li, J., Liao, X., Liu, D., Ye, X., Chen, S., & Ding, T. (2020). Microbial response to some nonthermal physical technologies. *Trends in Food Science and Technology*, 95(November 2019), 107–117. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.11.012>