

POTENSI TEKNOLOGI KEJUT LISTRIK PADA PENGOLAHAN PANGAN AGROINDUSTRI

Syarifah Y Nur Azizah¹, Novi Rahmawati², Rany Angeline Yulianto³,
Sudarti⁴, Trapsilo Prihandono⁵

¹²³⁴⁵Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Universitas Jember
e-mail: syarifah.r2001@gmail.com

ABSTRAK

Pulsed Electric Field (PEF) merupakan cara menginaktivasi mikroba tanpa merubah ciri khas produk pangan serta menjaga kandungan gizi pangan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui dan menggali kelebihan teknologi kejut listrik yang dapat dikembangkan di industri pangan Indonesia. Dengan metode kualitatif, peneliti menganalisis penelitian teknologi kejut listrik yang telah dilakukan oleh peneliti dan ahli pangan sebelumnya pada beberapa makanan/minuman olahan. Hasil penelitian membuka jalan baru bagi dunia industri pangan untuk mengawetkan pangan dengan cara yang aman, mengurangi penggunaan bahan kimia berbahaya, serta memeriksa kualitas makanan/minuman olahan sebelum akhirnya didistribusikan ke masyarakat.

Kata Kunci: *potensi, teknologi kejut listrik, pengolahan pangan, agroindustri*

ABSTRACT

Pulsed Electric Field (PEF) is a way of inactivating microbes without changing the characteristics of food products and maintaining the nutritional content of food. This study aims to identify and explore the advantages of electric shock technology that can be developed in the Indonesian food industry. With a qualitative method, researchers analyzed research on electric shock technology that had been carried out by researchers and food experts before on several processed foods/drinks. The research results open new ways for the food industry to preserve food in a safe way, reduce the use of hazardous chemicals, and check the quality of processed food/beverages before they are finally distributed to the public.

Keywords: *potential, electric shock technology, food processing, agro-industry*

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan salah satu negara agraris, hal ini dikarenakan luasnya lahan pertanian yang berpotensi untuk dikembangkan sebagai usaha yang bergerak dalam sektor pertanian. Sebagian besar masyarakat Indonesia khususnya di wilayah pedesaan menjadi petani. Hal ini tentunya menjadi suatu keuntungan tersendiri karena dapat melakukan produksi dalam rangka memenuhi kebutuhan pangan.

Seiring dengan perkembangan zaman, semakin berkembang pula tingkat populasi manusia. Hal ini akan menyebabkan semakin meningkatnya kebutuhan manusia khususnya dalam hal pangan. Dalam upaya mencukupi kebutuhan tersebut, maka perlu adanya pengolahan dalam agroindustri. Agroindustri terdiri dari dua kata yakni agro dan industri. Agro berkaitan dengan pertanian, sedangkan industri merupakan kegiatan yang bertujuan

untuk mengolah dan menghasilkan barang. Jadi agroindustri merupakan suatu usaha dalam bidang industri yang menggunakan hasil agrikultur sebagai bahan utama dalam menghasilkan produk.

Agroindustri merupakan usaha yang bertujuan untuk meningkatkan hasil produksi pertanian menjadi suatu kegiatan yang lebih efisien. Pelaksanaan dalam agroindustri sejatinya bertujuan untuk menghasilkan produk setengah jadi dari produk mentah yang selanjutnya diubah menjadi produk akhir untuk menghasilkan keuntungan sebesar-besarnya. Saat ini, agroindustri memerlukan bantuan teknologi sehingga pengolahan bahan pangan menjadi lebih cepat, singkat dan efisien. Salah satu teknologi yang digunakan untuk mengolah produk pertanian yakni teknologi kejut listrik. Sebab energi listrik sangat melekat dalam kehidupan manusia karena tanpa adanya energi listrik maka kegiatan menjadi terhambat.

Atom tersusun atas beberapa partikel yaitu neutron yang tidak memiliki muatan, proton bermuatan partikel positif dan elektron bermuatan partikel negatif. Letak proton dan neutron berada dalam inti atom, tetapi elektron mengitari inti atom di sepanjang lintasan tertentu. Atom mengalami interaksi antar muatan-muatannya dapat tolak-menolak apabila muatan dalam satu atom sejenis. Muatan yang berbeda dalam atom akan saling mengikat (Djamion, 2022).

Suatu bentuk energi yang dapat dimanfaatkan sebagai penggerak mesin dan alat dikenal listrik. Atom dikatakan stabil apabila jumlah proton dan elektron sama. Peristiwa munculnya listrik saat adanya ketidakseimbangan jumlah setiap muatan. Fenomena kelistrikan dibedakan menjadi listrik statis dan listrik dinamis. Listrik statis adalah kejadian saat tidak ada muatan berjumlah banyak yang bergerak. Maka ketidakseimbangan elektron-proton hanya terjadi saat di permukaan serta jumlah yang sedikit. Padahal peristiwa kelistrikan sudah dikenal sejak dahulu dalam bentuk bahan-bahan yang bukan penghantar listrik dan menghasilkan listrik statis berlangsung sementara. Berbeda dengan listrik dinamis yang terjadi jika ada muatan listrik negatif yang banyak lalu mengalir melalui konduktor. Banyak muatan listrik negatif yang mengalir di konduktor dikenal sebagai arus listrik. Alur aliran arus listrik berasal dari kutub positif ke kutub negatif (Purwanto, 2008).

Pemanfaatan listrik pada bidang pertanian yang saat ini sedang dikembangkan salah satunya *Pulsed Electric Field* adalah teknologi untuk melakukan proses non thermal yang didasarkan pada prinsip penambahan listrik tegangan tinggi ke dalam bahan yang diletakkan diantara 2 elektroda selama beberapa detik. Hal ini bertujuan untuk memperkecil kerusakan yang akan terjadi akibat pemanasan (Hermanto *et al.*, 2022). Teknologi PEF dapat dimanfaatkan sebagai peningkat hasil produksi sari buah dan ekstrak senyawa penting dalam buah seperti antioksidan, pewarna dan rasa serta mempercepat transfer air pada proses pengeringan. Metode PEF merupakan teknik inaktivasi mikroba tanpa mempengaruhi karakteristik produk pangan sehingga kandungan gizi pangan tetap terjaga (Hariono *et al.*, 2020).

Teknologi Pulsed Electric Field (PEF) memiliki potensi lebih besar untuk menonaktifkan patogen yang ada dalam produk makanan cair melalui elektroporasi (Ramaswamy *et al.*, 2019). Elektroporasi dapat diartikan sebagai pemberian tegangan listrik pada sel, sehingga dinding sel akan mengalami pemecahan tanpa merusak komponen bioaktif di dalam sel seperti senyawa antioksidan dan metabolit sekunder

(Rahmah *et al.*, 2019). PEF dapat mengubah bentuk sel atau memecah sel. Kerusakan pada membran meminimalkan energi yang dibutuhkan untuk menghilangkannya bahan dari sel sehingga ekstraksi dapat efisien (Dewi *et al.*, 2019).

Pulsed Electric Field (PEF) sebagai proses pengolahan non thermal yang terbukti menurunkan mikroba dan enzim pembusuk sampai batas tertentu, sebanding dengan bahwa dengan proses termal, tanpa mengurangi rasa, warna dan senyawa bioaktif. Karena itulah PEF digunakan sebagai teknik mengawetkan makanan makanan cair seperti susu, yogurt, jus, dan sup. Selain itu, teknologi ini cocok digunakan pada proses pasteurisasi makanan yang peka terhadap panas. Meskipun baru-baru ini, penggunaan High PEF telah diperluas ke pengolahan bahan padat seperti proses *pretreatment* daun minyak atsiri. Proses PEF melibatkan penerapan semburan pendek listrik lapangan ke sampel yang ditempatkan di antara dua elektroda yang menyebabkan permeabilitas-mungkin reversibel atau tidak dapat diubah tergantung pada parameter proses-membran (Yousuf, *et al.*, 2020).

Prinsip kerja dari sterilizer dengan teknologi *Pulsed Electric Field* (PEF) yaitu generator tegangan akan menghasilkan medan pulsa listrik dengan intensitas tertentu yang kemudian akan dipaparkan pada makanan cair. Pemberian intensitas medan pulsa listrik dapat disesuaikan dengan kebutuhannya. Bagian penting pada teknologi PEF yaitu tingginya unit pembangkit tegangan listrik, metode ruang perawatan yang ditujukan untuk menekan kenaikan suhu dan rancangan elektroda yang mampu meminimalkan efek elektrolisis. Tinggi intensitas medan dapat dicapai dengan menyimpan energi dalam jumlah besar di bank kapasitor catu daya DC yang kemudian diubah menjadi pulsa tegangan tinggi. Penggunaan energi di PEF lebih efisien daripada pasteurisasi termal, khususnya ketika menggunakan sistem kontinu (Wibowo *et al.*, 2022).

METODE

Metode penelitian dalam artikel ini menggunakan penelitian jenis deskriptif kualitatif yang menggunakan metode *literature review*. Penelitian deskriptif kualitatif merupakan penelitian yang digunakan untuk suatu memberikan gambaran terkait masalah yang diteliti dalam bentuk deskripsi (Yuliani, 2018). *Literature review* adalah metode penelitian yang memiliki tujuan mengumpulkan, mengambil intisari dan menelaah dari penelitian-penelitian yang dilakukan sebelumnya serta menganalisis beberapa overview para ahli yang tertulis dalam teks sebagai acuan (Snyder, 2019).

Tahapan *literature review* pada artikel ini yakni, 1) mencari literatur terkait potensi teknologi kejut listrik pada pengolahan pangan agroindustry, 2) memilih literatur yang sesuai dengan topik, 3) menganalisis data yang diperoleh, 4) menuliskan hasil penelitian sebelumnya menggunakan teks deskriptif, 5) membandingkan hasil penelitian satu dengan yang lain, dan 6) menarik kesimpulan (Afkarina, D., dan Sudarti. 2022).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini menggunakan makanan sebagai bahan uji coba seperti biji pinang, ekstrak daun torbangun, kacang edamame, kacang kedelai, kentang, kurma, jus apel, jus nanas, sari jeruk, sari jeruk siam, sari mangga, sari tebu hijau, susu kolagen, susu sapi, santan, dan sosis babi. Pemilihan bahan pangan secara acak untuk mengetahui kemungkinan peristiwa dapat terjadi apabila teknologi kejut listrik diberikan pada sampel.

Berikut hasil percobaan yang telah dilakukan pada berbagai makanan yang terdapat pada tabel 1.

Tabel 1. Pengaruh variasi perlakuan PEF terhadap ketahanan makanan/minuman olahan

Makanan/minuman Olahan	Tegangan medan listrik	Lama Perlakuan PEF	Suhu (°C)	Frekuensi PEF	Lain-lain
Biji pinang	4,5 kV/cm	20s , 25s, 30s	-	1; 1,5 ;dan 2 kHz	-
Ekstrak daun torbangun	1,5 kV/cm, 2 kV/cm, 2,5 kV/cm, 3 kV/cm, dan 3,5 kV/cm	20 s	-	-	-
Kacang edamame	35 kV, 40 kV, dan 45 kV	10 s, 20 s, 30 s	-	-	-
Kacang kedelai	3 kV, 5kV, dan 7kV	-	25 35 dan 45	-	-
kacang kedelai	5 kV	20 s	25, dan 45	-	-
Kentang	0,75 kV/cm dan 2,50 kV	5 menit	180	-	-
Kurma	4,76 kV/cm, 6,82 kV/cm, 8,84 kV/cm, dan 10,82 kV/cm	3-7 days	20-30	1 Hz	Pulsa 40 μ s
Jus apel	800 V/cm dan 40 V/cm	2 menit	60	-	-
Jus nanas	20 kV, 30 kV dan 40 kV	-	-	10 kHz	-
Sari jeruk	20 kV - 40 kV	0, 5, 10 dan 15 menit	-	-	-
Sari buah jeruk	40 kV/cm	60 s, 70 s, 80 s dan 90 s	35, 40, 45 dan 50	-	-
Sari jeruk siam	20 kV-40 kV	0, 5, 10 dan 15 menit	-	-	-
Sari mangga	30-50 kV	0 menit, 4 menit dan 8 menit	60, 65 dan 70	-	-
Sari tebu hijau	20 kV, 30 kV, dan 40 kV	-	-	40 kHz	-
Probiotik	4,74 kV	30s dan 60s	27 dan 30	8,197 kHz	-

Makanan/minuman Olahan	Tegangan medan listrik	Lama Perlakuan PEF	Suhu (°C)	Frekuensi PEF	Lain-lain
Jus tebu	20kV dan 40 kV	-	-	-	kadar ekstrak jahe 2%, 4%, dan 6%.
Susu	25 kV	40 menit	60 dan 70	-	-
Susu kolagen sapi	18 kV/cm	2 menit	35, 45, 55 dan 65	-	-
Susu mentah	0.5-2.4 kV/cm	24 jam	37	1 Hz	Pulsa 25 μ s
Minyak kelapa	3 kV/cm	-	-	2,25 kHz	-
Sosis Babi	0,1-5,0 kV/cm	-	-	-	-

Proses ekstraksi biji pinang (*Areca catechu*) dilakukan untuk mendapatkan senyawa tanin yang berfungsi sebagai antioksidan. Penggunaan PEF pada proses ekstraksi biji pinang dapat meningkatkan kualitas antioksidan dalam senyawa tanin namun tidak secara signifikan. kualitas terbaik dari antioksidan ini diukur dari kadar air dan nilai aktivitas antioksidan terendah serta kadar tanin dan nilai rendemen tertinggi dari semua perlakuan. Pada perlakuan PEF dengan frekuensi 1 kHz dan lama 20 detik didapatkan hasil terbaik dengan kadar air 7,78%; nilai aktivitas antioksidan 277,56 ppm; nilai rendemen 5,6%; dan kadar tanin 442,36 mg GAE/g (Rahmah *et al.*, 2019).

Daun torbangun adalah salah satu daun yang berperan sebagai antioksidan karena mengandung senyawa flavonoid dan fenolik. Sebelum digunakan sebagai antioksidan, kandungan dalam daun torbangun harus di ekstrak menggunakan metode maserasi yang telah diubah dengan *pretreatment* menggunakan *Pulse Electric Field (PEF)*. Untuk mendapatkan ekstrak, daun torbangun dikeringkan menggunakan oven dan microwave. Langkah kedua menggunakan PEF selama 20 detik menggunakan kuat medan listrik yang berbeda-beda yakni 1,5; 2; 2,5; 3; dan 3,5 kV/cm. langkah terakhir proses maserasi selama 4 jam. Hasil penelitian menunjukkan proses ekstraksi menggunakan kuat medan yang tinggi maka proses daun torbangun yang terekstrak semakin tinggi. Akan tetapi, hal ini akan merusak senyawa flavonoid yang terkandung dalam daun torbangun sehingga kuat medan listrik yang ideal sebesar 2.5 kV/cm (Dewi, 2019).

Kacang edamame yang diberi kejut listrik dengan tegangan dalam jangka waktu yang bervariasi. Mutu produk akan berkurang jika enzim protease masih aktif setelah dipanen. Kejut listrik dengan tegangan tinggi mempengaruhi proses ionisasi garam yang berada di dinding sel. Tingkat koagulasi protein di elektroda yang tinggi akan setara dengan kematian mikroba yang terkandung di kacang. Ketika edamame diberikan perlakuan PEF dengan tegangan 45 kV selama 30 detik menghasilkan nilai hue terendah karena klorofil yang dikandung edamame menurun. Kesegaran kacang edamame akan

berkurang dan akan berubah warna menjadi kuning kecoklatan saat memasuki minggu kelima. Sehingga umur simpan kacang edamame dikatakan layak konsumsi diperhitungkan $y = 1,16x + 150,39$ Kualitas warna asli dari kacang edamame dapat bertahan hingga lima minggu dengan cara melambatkan pertumbuhan mikroba selama dua minggu dan menggunakan perhitungan persamaan linear dari percobaan (Ariyantini, 2017).

Proses meningkatkan kandungan fenol dan aktivitas antioksidan kacang kedelai dapat dilakukan dengan mengoptimasi elisitasi durasi kejut listrik dan suhu. Suhu yang digunakan dalam penelitian yakni 25°C dan 45°C dengan durasi kejut listrik 20 s. Hasil yang diperoleh berbanding lurus dimana semakin meningkat suhu dan semakin lama durasi kejut listrik maka nilai aktivitas antioksidan dan kandungan total fenol juga meningkat. Hasil optimasi elastisitas menggunakan kejut listrik mencapai hasil titik optimal dengan tegangan 5 kV, suhu 34,73°C dan waktu 14,93 s. Pada titik optimal tersebut didapatkan kandungan fenol sebesar fenol 5,02 mg/g dengan aktivitas antioksidan sebesar 65,07 ppm (Assidiqy *et al.*, 2020).

Kentang yang diteliti dipapari medan listrik 0,75 kV/cm dengan pulsa 9000 serta medan listrik 2,50 kV/cm dengan pulsa 810. Dibandingkan teknik perebusan dan pemberian garam, kentang yang diberi PEF mengandung sedikit minyak sehabis digoreng, kandungan air lebih banyak dan tekstur kentang yang lembut. Warna kentang goreng menjadi coklat keemasan karena kadar gula yang ada di kentang menurun. Perlakuan PEF pada kentang dapat meningkatkan permeabilitas membran sel kentang. Selain itu, pengawetan jauh lebih aman dibanding dengan menggunakan bahan kimia yang membutuhkan waktu untuk prosesnya (Lee, *et al.* 2022).

Buah palem hanya tumbuh subur di daerah yang beriklim tropis, misalnya buah kurma. Perlakuan teknologi kejut listrik pada buah kurma dapat meningkatkan inaktivasi mikroorganisme, intensitas medan listrik dan jumlah pulsa dalam waktu yang konstan. Dalam penelitian yang telah dilakukan terbukti tidak ada bakteri yang ditemukan setelah diberi PEF 10,82 kV/cm. Jika intensitas medan listrik dikurangi menjadi 8,84 kV/cm, maka tidak terdapat ragi dan jamur. Hal tersebut menggambarkan teknologi kejut listrik dapat menjadi metode pengawetan non-thermal untuk memberhentikan kerja mikroorganisme dalam buah kurma (Mohammed, 2016).

Jus apel mengandung ragi *S. cerevisiae* di suhu 80°C mengalami inaktivasi sehabis diberi perlakuan PEF 12,6 kV/cm. Inaktivasi mikroorganisme akan jauh lebih meningkat saat jumlah denyut sekitar 50-400 denyut. Inaktivasi PEF yang lebih rendah menyebabkan energi per pulsa menjadi lebih rendah. Batas akhir inaktivasi PEF pada jus apel 3 log setelah pemberian PEF 30 kV/cm. Kadar gula bertambah lebih dari 20% memberi perlindungan ragi. Hal tersebut membuktikan teori elektroporasi yang membahas perbedaan potensial induksi yang melalui membran akan sebanding dengan medan listrik yang diberikan (Eshtiaghi, *et al.*, 2021).

Jika jus nanas diberi tegangan PEF berdampak pada perubahan Total Plate (TPC) dan nilai absorbansi. Saat jus nanas diberi tegangan 40 kV dan frekuensi 40 kHz merendahkan jumlah mikroba sebesar $1,01 \times 10^3$, tetapi total nutrisi menurun sebesar $6,35 \times 10^3$ di tegangan 20 kV dan frekuensi 10 kHz. Frekuensi yang tinggi membuat nilai absorbansi semakin besar. Rentang absorbansi yang lebih rendah daripada nilai absorbansi produk menyatakan partikel mudah menyerap. Akan tetapi, pemberian tegangan PEF tidak

berpengaruh pada total padatan terlarut, banyaknya gula, viskositas, dan perubahan warna jus nanas (Indriani, *et al.*, 2019).

Susu jeruk merupakan hasil dari ekstraksi jus jeruk yang dikombinasikan dengan susu kemudian dipasteurisasi. Pengkombinasian ini bertujuan untuk memanfaatkan jeruk dengan kualitas rendah yang memiliki harga murah. Penggunaan PEF pada proses pasteurisasi bertujuan untuk mengawetkan susu jeruk dengan membunuh mikroba pembusuk dengan tegangan 20 kV - 40 kV selama 15 menit terbukti efektif membunuh mikroba sebesar 94,58%. Semakin lama pasteurisasi dengan PEF akan semakin efektif membunuh mikroba. Hasil analisis menunjukkan adanya bakteri coliform pada susu jeruk segar dan susu jeruk setelah pasteurisasi. Namun, bakteri coliform pada susu jeruk setelah pasteurisasi masih sesuai dengan Standar Nasional Indonesia (SNI). Selain itu, pasteurisasi dengan PEF tidak mengubah sifat kimia dari susu jeruk yang diukur dengan kriteria besar pH dan padatan terlarut tidak berubah secara signifikan (Hariono *et al.*, 2022).

Sari buah jeruk dapat diolah menggunakan kombinasi teknologi dengan *minimal heat treatment* yang memanfaatkan variasi suhu 35°C, 40°C, 45°C, dan 50°C dan variasi waktu *pulsed electric field* 60 s, 70 s, 80 s, dan 90 s. tegangan yang digunakan dalam pemanfaatan *pulsed electric field* yakni 40 kV/cm. Total mikroba dapat turun sebanyak 5.2 log cycle dan BAL 3.8 log cycle pada kombinasi perlakuan suhu 50°C, waktu 90 dan tegangan 40kV/cm (Hawa *et al.*, 2016).

Jus jeruk siam yang dipasteurisasi dengan perlakuan PEF memiliki penurunan kadar vitamin C namun cenderung tidak signifikan dengan pasteurisasi tanpa PEF. vitamin C tertinggi pada jus jeruk siam dihasilkan pada proses pasteurisasi selama 5 menit yakni sebesar 6,181 mg/100gr. Pada perlakuan pasteurisasi dengan PEF cenderung menurunkan pH dan padatan larutan jus jeruk siam namun perubahannya tidak signifikan dibandingkan pasteurisasi tanpa PEF. Penurunan nilai total padatan terlarut dikarenakan kandungan bahan yang terkandung dalam sari jeruk siam tidak terdegradasi akibat pengolahan menggunakan PEF. Pada perlakuan PEF selama 15 menit tidak ditemukan bakteri coliform pada jus jeruk siam. Hal ini dikarenakan kondisi pH antara 4,44-4,64 dalam kondisi cukup asam sehingga bakteri coliform tidak dapat hidup dengan baik (Wibowo *et al.*, 2022).

Kombinasi pasteurisasi dan durasi perlakuan kejutan listrik diharapkan dapat berpengaruh terhadap karakteristik sari buah mangga. Suhu pasteurisasi yang digunakan dalam proses tersebut bervariasi antara 60°C, 65°C, dan 70°C. durasi perlakuan kejutan listrik bervariasi antara 0 menit, 4 menit dan 8 menit. Perlakuan terbaik yakni pada suhu pasteurisasi 65°C dan durasi kejutan listrik selama 8 menit. Dalam proses ini diperoleh bahwa suhu pasteurisasi dan perlakuan variasi waktu kejutan listrik sama-sama berpengaruh dalam menurunkan nilai TPC, kadar vitamin C, dan nilai b* (kekuningan). Sedangkan yang membedakan pada suhu pasteurisasi berpengaruh nyata dalam sensori, menaikkan derajat keasaman dan kekentalan. Pada perlakuan variasi kejutan listrik berpengaruh total karotenoid, dan aktivitas antioksidan serta tidak menyebabkan perubahan parameter rasa, aroma, warna dan kekentalan (Choiron dan Sudarminto. 2018).

Proses pasteurisasi sari tebu hijau menggunakan metode non thermal yakni dengan Pulsed Electric Field (PEF). PEF digunakan untuk menghasilkan kualitas sari tebu hijau terbaik. Dalam proses menghasilkan sari tebu terbaik, menggunakan variasi tegangan (20, 30, dan 40)kV dengan variasi frekuensi PEF (20, 30, dan 40) kHz. Hasil perlakuan terbaik

yakni perlakuan PEF menggunakan tegangan 40 kV dan frekuensi 40 kHz yaitu 87,48 % dengan total mikroba $8,5 \times 10^6$ cfu/ml. Penurunan total mikroba pada tegangan 40 kV dan frekuensi 40 kHz sebesar 0,9 log cycle (Indriani, *et al.*, 2017).

Produk probiotik dengan bahan cacing tanah (*Lumbricus rubellus*) didapatkan melalui proses fermentasi dari jus cacing. proses fermentasi konvensional menggunakan pemanasan manual dan waktu yang lama. Produk tersebut dapat berpotensi terkontaminasi bakteri dan jamur. Proses fermentasi dengan PEF dapat menurunkan kadar pH sebesar 4.8 pada perlakuan suhu 27°C dan lama waktu 30 detik. Nilai pH yang rendah akan memperlambat pertumbuhan bakteri dan jamur berbahaya yang dapat merusak kualitas probiotik yang dihasilkan (Hermanto *et al.*, 2022).

Jus tebu segar memiliki umur simpan yang sangat pendek karena fermentasi alami yang terjadi. Pasteurisasi dengan metode PEF non thermal dapat digunakan sebagai upaya memperpanjang umur simpan dan menjaga kualitas jus tebu. Jus tebu dengan perlakuan tegangan PEF 40 kV dan ekstrak jahe 6% memiliki umur simpan yang lebih tinggi. Hal ini karena tegangan yang tinggi dapat menurunkan aktivasi mikroba pembusuk serta ekstrak jahe berperan dalam memperlambat pertumbuhan bakteri patogen dan jamur pembusuk. Karakteristik jus tebu yang dihasilkan dari perlakuan tersebut yaitu total mikroba $3,7 \times 10^3$ CFU/mL dengan aktivitas antibakteri sebesar 1,48 mm dan pH sebesar 6,26 (Mulyadi *et al.*, 2022).

Proses pembunuhan bakteri pada susu dapat menggunakan Heater, listrik tegangan tinggi dan system refrigerasi. Proses ini menggunakan suhu pasteurisasi 60°C sampai 70°C dan tegangan listrik sebesar 25 kV. Selama proses pembunuhan bakteri, suhu susu ditetapkan 4°C menggunakan sistem refrigerasi. Dalam proses ini diperoleh hasil bahwa dalam waktu 40 menit dibutuhkan energi sebesar 844.800 Joule. Setengah bakteri dalam susu dapat terbunuh karena tegangan listrik tinggi yang dikeluarkan *flyback* selama 5 menit (Sunardi *et al.*, 2020).

Kualitas luar (fisik), organoleptic dan total mikroba dalam susu kolagen sapi dapat ditentukan dengan *Pulsed electric field*. Dalam prosesnya dibutuhkan tegangan sebesar 18 kV/cm, waktu kejutan listrik 2 menit, waktu *pre-heating* 10, 20, 30 dan 40 menit dan suhu variasi 35°C, 45°C, 55°C, dan 65°C. Hasil perlakuan terbaik yakni dengan perlakuan *pre-heating* suhu 55°C yang dilakukan selama 30 menit dan diteruskan dengan proses pasteurisasi menggunakan PEF (Priyanto *et al.*, 2021).

Susu mentah mengandung berbagai spesies bakteri gram-positif maupun gram-negatif menyebabkan perbedaan distribusi antara jumlah total bakteri yang tidak aktif dan coliform. Bakteri gram-negatif lebih sensitif dan akan jauh lebih efektif dalam transformasi elektro. Hal tersebut terjadi karena selubung sel bakteri dan dinding sel mengurangi jumlah DNA eksogen yang masuk dalam sel. Sedikit jumlah panas yang dilepaskan saat perlakuan PEF karena kandungan protein whey yang tidak didenaturasi tetap sama dan menjadi teknologi pengolahan susu mentah yang biaya kerja lebih sedikit dengan memperhatikan nilai gizi produk susu. Bakteri tidak aktif saat berada di tekanan tinggi (>300 MPa) sambil menentukan durasi yang optimal. Meskipun demikian susu yang diberi PEF 24kV/cm memiliki jumlah bakteri yang sedikit dengan kandungan coliform yang berkurang (Salasevicius, *et al.*, 2021).

Tegangan dan besar frekuensi dapat mempengaruhi ukuran sel elektroporasi. Semakin besar tegangan dan frekuensinya, maka akan semakin besar pori-pori sel yang terbentuk. Proses ekstraksi dengan pretreatment PEF dilakukan agar senyawa mudah berdifusi dengan pelarut. Tegangan yang diterapkan pada material meningkatkan konduktivitas listrik dan permeabilitas membran sel. Kerusakan pada membran meminimalkan energi yang dibutuhkan untuk menghilangkannya bahan dari sel sehingga ekstraksi dapat efisien, yang akhirnya ekstraksi santan dapat ditingkatkan dan diperoleh minyak dalam jumlah besar. Oleh karena itu, PEF merupakan teknologi yang efisien untuk memproduksi minyak (Dewi *et al.*, 2019).

Pemberian medan listrik untuk elektroporasi sel otot daging yang selanjutnya dikeringkan paling optimal di suhu 4°C. Sosis babi dengan kuat medan listrik 1 kV/cm, dan energi spesifik total 28 kJ/kg menghasilkan tingkat pengeringan lebih tinggi (60,4%). Ukuran daging giling dan orientasi sel otot mempengaruhi keefektifan proses pengeringan saat diberlakukan PEF. Sebab orientasi tegak lurus terhadap kekuatan medan untuk menghasilkan pengeringan yang lebih tinggi. Waktu pengeringan sosis menjadi lebih cepat untuk mencapai berat yang sama dengan sesudah perlakuan PEF sosis dikeringkan tanpa casing. Produksi pengawetan sosis babi dapat meningkat dengan batas efek penghalang air yang ada di bungkus (Redin, *et al.*, 2019).

PENUTUP

Teknologi kejutan listrik memiliki potensi yang besar dalam pengolahan makanan dan minuman termasuk dalam metode non-termal. Medan listrik yang dimanfaatkan dalam teknologi ini dapat mengeringkan bahan dengan waktu yang singkat. Hal tersebut dikarenakan pengaruh besar tegangan, frekuensi kejutan listrik dan temperatur terhadap ukuran sel bahan yang diuji. Medan listrik dalam *Pulsed Electric Field* (PEF) juga memiliki efek dalam mengurangi aktivitas organisme pembusuk sehingga dapat dimanfaatkan untuk memperpanjang umur simpan bahan pangan. Selain itu, perlakuan pasteurisasi dengan teknologi ini mampu menurunkan pH dan tidak merubah sifat padatan larutan. Sedangkan pada kentang, medan listrik yang dipancarkan oleh kejutan listrik dapat meningkatkan permeabilitas membran sel. Dengan demikian, teknologi kejutan listrik sangat sesuai apabila digunakan dalam pengawetan salah satunya dengan mengeringkan bahan sehingga makanan maupun minuman olahan tetap terjaga kualitasnya.

UCAPAN TERIMA KASIH

Kami mengucapkan terima kasih kepada Bapak dan Ibu dosen pengampu mata kuliah Agrofisika Program Studi Pendidikan Fisika Universitas Jember telah mengarahkan kami selama menyusun artikel ilmiah. Kami berterima kasih kepada peneliti *Pulsed Electric Field* (PEF) yang telah mempublikasikan ke jurnal Nasional atau Internasional. Teruntuk rekan sepenulisan yang berkontribusi bersama dari awal hingga artikel ini dipublikasikan.

DAFTAR PUSTAKA

- Ariyantini, M. D., Fauzi, M., & Jayus, J. (2018). Inaktivasi Enzim Protease Pada Puree Edamame (Glycine Max) Menggunakan Teknik Pulsed Electric Field (PEF). *Jurnal Agroteknologi*, 11(02), 164-171.
- Asshidiqy, R., Putri, W. D. R., & Maligan, J. M. (2020). Optimasi Elisitasi Suhu dan Waktu Kejut Listrik untuk Meningkatkan Aktivitas Antioksidan dan Kandungan Total Fenol Kacang Kedelai (Glycine max). *Jurnal Keteknikan Pertanian Tropis dan Biosistem*, 8(2), 153-160.
- Astráin-Redín, L., Raso, J., Cebrián, G., & Álvarez, I. (2019). Potential of Pulsed Electric Fields for the preparation of Spanish dry-cured sausages. *Scientific Reports*, 9(1), 1-11.
- Choiron, M., & Yuwono, S. S. (2018). Pengaruh Suhu Pasteurisasi dan Durasi Perlakuan Kejut Listrik Terhadap Karakteristik Sari Buah Mangga (*Mangifera indica* L.). *Jurnal Pangan dan Agroindustri*, 6(1).
- Dewi, I. A., Mulyadi, A. F., Aryvyanto, F., & Sucipto, S. (2019). Optimization of virgin coconut oil production with pulse electric field pretreatment (A study on voltage and frequency). In *AIP Conference Proceedings (Vol. 2120, No. 1, p. 050005)*. AIP Publishing LLC.
- Dewi, S. R., Sumarni, N., Izza, N. M., Putranto, A. W., & Susilo, B. (2019). Studi variasi kuat medan listrik PEF dan metode pengeringan bahan terhadap senyawa antioksidan ekstrak daun torbangun (*Coleus amboinicus* L.). *Jurnal Keteknikan Pertanian*, 7(1), 91-98.
- Djamion, D. A. (2022). Keaktifan dan Hasil Belajar Siswa Dalam Pembelajaran Listrik Statis melalui Permainan di MTs Muhammadiyah Jayapura. *Andragogi: Jurnal Diklat Teknis Pendidikan dan Keagamaan*, 10(2), 211-224.
- Eshtiaghi, M. N., & Nakthong, N. (2021). Application of pulsed electric field for inactivation of Yeast *S. cerevisiae* in apple juice. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1893, No. 1, p. 012008). IOP Publishing.
- Hariono B Wijaya R Kurnianto M F Sutrisno S Seminar K B and Brilliantina A. (2020). Quality of Goat's Milk Exposed Ultraviolet and High Pulsed Electric Field IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci. 411, 1.
- Hariono, B., Brilliantina, A., Sari, E. K. N., Kurnianto, M. F., Erawantini, F., & Kautsar, S. (2022). Pulsed electric field application on pasteurization of orange milk from low grade orange: study on nutritional, physical, chemical properties, and total microorganism. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 980, No. 1, p. 012041). IOP Publishing.
- Hawa, L. C., Komar, N., & Wirayanti, D. (2016). Kombinasi Pasteurisasi Termal Dan Non Termal Pada Sari Buah Jeruk. *Jurnal Keteknikan Pertanian Tropis dan Biosistem*, 4(3), 242-249.
- Hermanto, M.B., A.W. Putranto, dan W.N.F. Azra. 2022. Pengaruh Suhu dan Waktu Pretreatment Terhadap Uji pH dan Warna Probiotik Menggunakan Teknologi Pulsed Electric Field. *Jurnal Sumberdaya Alam dan Lingkungan*. 8(3):16-21.
- Indriani, D. W., Amalia, S., Sumarlan, S. H., & Barunawati, N. (2019). Effect of voltage and frequency in pasteurization pulsed electric field (PEF) continuous

- system of pineapple (*Ananas comosus* [L.] Merr) Juice. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 557, No. 1, p. 012046). IOP Publishing.
- Indriani, D. W., Sumarlan, S. H., Cahyanti, R. N., Mulyadi, A. F., & Barunawati, N. (2017). Aplikasi Pulsed Electric Field (PEF) Sistem Kontinyu pada Sari Tebu Hijau (*Saccharum officinarum* L.)(Kajian Tegangan dan Frekuensi PEF). *Teknotan: Jurnal Industri Teknologi Pertanian*, 11(1), 41-50.
- Lee, S. H., Shahbaz, H. M., Jeong, S. H., Hong, S. Y., & Lee, D. U. (2022). Effect of pulsed electric field treatment on cell-membrane permeabilization of potato tissue and the quality of French fries. *Italian Journal of Food Science*, 34(3), 13-24.
- Maligan, J. M., Fitria, M. W., & Putri, W. D. R. (2020, February). The role of pulsed electric field (PEF) with thermocontrol modification as an elicitor to increase bioactive compound in local soybean. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 443, No. 1, p. 012092). IOP Publishing.
- Mohammed, M. E. A., Eissa, A. A., & Aleid, S. M. (2016). Application of pulsed electric field for microorganisms inactivation in date palm fruits. *J. Food Nutr. Res*, 4(10), 646-652.
- Mulyadi, A. F., Sucipto, S., Sumarlan, S. H., Indriani, D. W., & Lama'ah, R. A. (2022). Physicochemical characteristics of pulsed electrical field-sterilized sugarcane (*Saccharum officinarum* L.) juice with added ginger extract. *Advances in Food Science, Sustainable Agriculture and Agroindustrial Engineering (AFSSAAE)*, 5(2), 171-181.
- 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 Menggunakan Pulsed Electric Field. *Jurnal Keteknikaan Pertanian Tropis dan Biosistem*, 9(2), 141-153.
- Purwanto. (2008). *Seri Mengenal Alam Benda 6 : Mengenal Magnet, Listrik, dan Komputer*. Bandung: Dunia Pustaka Jaya.
- Rahmah, N.L., Sukardi, dan I.N. Dila. Aplikasi Perlakuan Pendahuluan Pulsed Electric Field (PEF) pada Ekstrak Tanin Biji Pinang (*Areca catechu*)(Kajian Frekuensi dan Waktu PEF). *Jurnal Teknologi Industri Pertanian*. 29(1):45-52.
- Ramaswamy, R., R.P. Ramachandran, dan V. Gowrisree. 2019. High voltage pulsed electric field application using titanium electrodes for bacterial inactivation in unpurified water. *Japan Journal of Food Engineering*. 20(2):63-70.
- Šalaševičius, A., Uždavinytė, D., Visockis, M., Ruzgys, P., & Šatkauskas, S. (2021). Effect of pulsed electric field (PEF) on bacterial viability and whey protein in the processing of raw milk. *Applied Sciences*, 11(23), 11281.
- Sunardi, C., Sutandi, T., Maulana, A., & Kosasih, A. (2020). Analisis Performansi Sistem Pembunuh Bakteri pada Susu Menggunakan Heater, Listrik Tegangan Tinggi, dan Sistem Refrigerasi. In *Prosiding Industrial Research Workshop and National Seminar* (Vol. 11, No. 1, pp. 381-386).
- Wibowo, M. J., Bakri, A., Hariono, B., Wijaya, R., & Brilliantina, A. (2022). Application of pulsed electric field in pasteurization of orange juice of siam cultivar: study on nutritional, physical, chemical properties, and total

- microorganism. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 980, No. 1, p. 012007). IOP Publishing.
- Yousuf, A., Rahman, M. A., Uddin, M. R., Hoque, M. M., Sayem, A., Hossain, M. S., ... & Haque, M. (2020). Pineapple juice preservation by pulsed electric field treatment. *Open J Biol Sci*, 5(1), 006-012.
- Yuliani, W. (2018). Metode penelitian deskriptif kualitatif dalam perspektif bimbingan dan konseling. *Quanta*, 2(2), 83-91.