

POTENSI TEKNOLOGI MEDAN PULSA LISTRIK UNTUK MEMPERBAIKI KUALITAS DAGING: SEBUAH ULASAN

Potency of Pulsed Electric Fields Technology for Improving Meat Quality: A Review

Khothibul Umam Al Awwaly¹

¹Bagian Teknologi Hasil Ternak Fakultas Peternakan Universitas Brawijaya

Diterima 9 Agustus 2016, diterima pasca revisi 18 Agustus 2016

Layak terbit 1 Oktober 2016

ABSTRACT

New and emerging robust technologies can play an important role in ensuring a more resilient meat value chain and satisfying consumer demands and needs. One of the new technologies was pulsed electric fields technology. However, the successful application of this technology was in the liquid food substances like fruit juice and milk. Recently, an attempt have been tried to use the pulsed electric fields for semi solid and solid material like meat and meat products. Application of pulsed electric fields in the meat sector could improve the quality of meat, for example the meat tenderness, water holding capacity and microbial count of meat. This paper outlines principles and application range of this technology which have shown potential benefit for improving meat quality.

Keywords: *pulsed electric fields, meat quality, tenderness, microbial inactivation.*

PENDAHULUAN

Para produsen, distributor dan pengecer yang terlibat dalam bidang penanganan dan pengolahan daging saat ini berusaha keras untuk dapat memenuhi permintaan konsumen dengan memproduksi produk olahan daging berkualitas tinggi, berkelanjutan dan murah. Sementara itu, pengawetan produk pangan telah lama dilakukan dalam upaya untuk memperpanjang umur simpan produk. Target utama dalam proses pengawetan adalah menghambat pertumbuhan mikrobial pembusuk dan patogen yang menyebabkan kerusakan pangan (Muchtadi dan Ayustaningwarno, 2010; Muchtadi dan Sugiyono, 2014). Dalam pengolahan daging, penggunaan teknologi baru yang terus-menerus

dikembangkan dimaksudkan untuk meningkatkan sifat-sifat tertentu kualitas daging, memperpanjang umur simpan dan stabilitas daging maupun daging olahan selama penyimpanan. Produksi daging secara konsisten dan berkualitas tinggi adalah salah satu persyaratan penting bagi industri pengolahan daging untuk mempertahankan dan memperluas pasar (Troy et al., 2016).

Cara yang paling efektif dalam menurunkan jumlah dan pertumbuhan mikrobial adalah dengan menggunakan panas. Namun, penggunaan panas akan berdampak pada penurunan kualitas khususnya penerimaan sensori (rasa, warna, tekstur dan aroma) dan kandungan nutrisi produk. Produk yang diolah dengan menggunakan panas akan jauh dari sifat segar (*fresh like*) dari bahan

baku yang digunakan. Padahal konsumen menghendaki produk pangan yang masih kelihatan segar walaupun setelah disimpan beberapa waktu lamanya. Untuk memenuhi keinginan konsumen akan permintaan produk pangan yang masih menunjukkan sifat-sifat kesegaran bahan baku (terutama buah-buahan dan sayuran), maka berkembang teknologi pengawetan nontermal yang mana aplikasi panas diupayakan seminimal mungkin. Teknologi nontermal yang berkembang pada saat ini adalah [1] tekanan hidrostatis tinggi, [2] medan listrik intensitas tinggi, [3] medan magnet, [4] pulsa cahaya, [5] iradiasi. Teknologi tersebut merupakan teknologi pengolahan pangan alternatif yang aman dan bertujuan untuk membunuh bakteri patogen (Muchtadi dan Sugiyono, 2014).

Di sisi lain, pengawetan dan konsumsi daging memerlukan teknik prosesing yang cukup untuk menjamin keamanan mikrobial (patogen dan pembusuk) dan mempertahankan mutu dengan memperpanjang masa simpannya. Tingkat persaingan yang tinggi dan margin biaya yang ketat/tipis pada industri pengolahan daging, menuntut industri yang bergerak dalam penanganan dan pengolahan daging untuk selalu mencari dan menemukan serta mengembangkan teknologi/cara baru yang inovatif untuk mengolah daging yang mampu menjaga mutu dan meningkatkan keamanan produk daging. Teknik pengolahan daging yang inovatif harus dapat menjawab 3 pilar keberlanjutan usaha yaitu sosial, lingkungan dan ekonomi atau yang sering disebut sebagai aspek orang, planet dan keuntungan (Troy et al., 2016). Oleh karena itu teknik pengolahan daging baru yang inovatif ditargetkan untuk mencapai ketiga pilar keberlanjutan ini yakni mengurangi dampak lingkungan melalui penurunan limbah industri pengolahan daging, meminimalkan penggunaan sumber daya alam (energi dan air), dan menghasilkan produk olahan daging yang

aman, bergizi dan berkualitas tinggi sesuai permintaan konsumen.

Teknologi medan pulsa listrik (*pulsed electric fields* = PEF) merupakan salah satu teknologi yang memberikan peluang untuk diterapkan dalam pengolahan daging. Walaupun sementara ini teknologi PEF lebih banyak digunakan pada bahan pangan cair seperti susu. Teknologi PEF memperlihatkan potensi besar dalam pangan cair berkaitan dengan inaktivasi mikrobial patogen, mikrobial pembusuk atau enzim yang berkaitan dengan mutu dan keamanan pangan (Elez-Martinez et al., 2012). Saat ini, beberapa kajian telah meneliti penggunaan PEF dalam pangan padat dengan tujuan untuk memodifikasi strukturnya untuk berbagai alasan (misalnya ekstraksi senyawa bioaktif atau mengubah sifat fisik material tanaman). Walaupun demikian, hanya terbatas kajian yang meneliti tentang aplikasi PEF pada pangan daging (O'Dowd et al., 2013). Tulisan ini memberikan gambaran secara umum tentang teknologi PEF meliputi definisi dan prinsip proses pengolahan dengan sistem PEF dan pengaruhnya terhadap kualitas daging sehingga dapat diketahui tantangan dan peluang penerapan teknologi PEF dalam pengolahan daging.

Definisi dan Prinsip Teknologi PEF

Perlakuan PEF merupakan teknologi fisik yang didasarkan pada tenaga elektronik yang dapat dilakukan pada suhu rendah atau sedang, sehingga dapat mewakili teknologi pengawetan pangan alternatif nontermal untuk menggantikan pasteurisasi panas. Pengembangan PEF pada awalnya ditujukan untuk 2 bidang yaitu: 1) permeabilisasi elektro tak tetap untuk memindahkan DNA ke dalam sel, dan 2) inaktivasi mikrobial dan pengawetan pangan. Perkembangan terakhir dalam bidang elektronik dan kontrol energi listrik membantu menciptakan peralatan yang lebih bertenaga dan efektif,

termasuk peralatan dengan teknologi PEF.

Teknologi PEF adalah aplikasi medan pulsa listrik tegangan tinggi, biasanya 20–80 kV/cm (USFDA, 2000) atau 10-100 kV/cm (Gauri, 2009), pada bahan yang ditempatkan di antara dua elektroda dengan waktu yang singkat. Perlakuan suhu pada proses PEF dapat berlangsung pada suhu kamar, sedikit di bawah suhu kamar atau sedikit di atas suhu kamar selama kurang dari 1 detik (biasanya 1-20 μ s, tetapi dengan kisaran 50 ns sampai dalam beberapa milidetik) dan kehilangan energi karena pemanasan bahan pangan diminimalkan. Teknologi PEF memiliki kelebihan dibandingkan pemanasan konvensional terutama dalam mencegah kehilangan sifat-sifat sensori dan sifat fisik.

Aspek penting dalam teknologi PEF adalah unit pembangkit listrik tegangan tinggi, desain ruang proses (*treatment chamber*) yang mampu menekan peningkatan temperatur dan desain elektroda yang mampu meminimalisasi efek elektrolisis. Intensitas medan yang tinggi tercapai dengan cara menyimpan sejumlah besar energi dalam bank kapasitor (suatu seri kapasitor) dari power supply DC yang kemudian diubah dalam bentuk pulsa dengan voltase tinggi. Kebutuhan energi dalam PEF lebih efisien dibandingkan pasteurisasi termal, terutama jika menggunakan sistem kontinyu.

Komponen utama dalam jejaring pembentuk pulsa listrik adalah: 1) pembangkit energi listrik. Unit pembangkit energi listrik tegangan tinggi yang mampu menyediakan energi listrik pada tingkat voltase yang ditentukan sampai sekitar 40kV; 2) satu atau beberapa bank kapasitor, inductor dan/atau resistor. Kapasitor untuk menyimpan energi listrik. Kapasitor dihubungkan secara paralel untuk memperbesar energi listrik yang tersimpan. Induktor menyimpan sementara energi magnetik sehingga

menunda kenaikan arus listrik. Resistor terutama diwakili oleh muatan ruang proses dan menghilangkan energi listrik. 3) satu atau beberapa saklar yang mengalirkan energi listrik ke elektroda dan bahan pangan. Saklar-saklar dihubungkan secara seri paralel untuk bolak-balik voltase tinggi dan arus listrik. Kisaran lama pulsa mulai kurang dari mikrodetik sampai beberapa milidetik. 4) satu atau beberapa ruang proses dengan dua elektroda berada diantara sampel bahan pangan dialirkan atau ditempatkan. Jika saklar ditutup maka kapasitor membuang energi yang disimpan ke ruang proses dan pulsa listrik mengalir melalui sampel bahan pangan. Laju peningkatan voltase yang melewati elektroda tergantung pada kecepatan penutupan saklar, kawat listrik dan resistivitas bahan pangan. Gangguan interkoneksi listrik dapat terjadi karena menggunakan beberapa ruang proses secara seri atau paralel. 5) Osciloskop untuk mengukur voltase yang melewati elektroda dan menampilkan gambar bentuk pulsa listrik. Bentuk pulsa tergantung pada jejaring pembentuk pulsa listrik. Beberapa bentuk pulsa listrik adalah *exponential decay* atau gelombang persegi (keduanya dapat berbentuk monopolar atau bipolar), pulsa *oscillatory* atau pulsa *instant reversal*.

Prinsip proses PEF yang digunakan adalah menyimpan sejumlah besar energi dari power supply DC dalam satu seri kapasitor yang mengubah energi tersebut menjadi pulsa bertegangan tinggi dalam bejana yang berisi produk pangan. Kelebihan utama prosesing pangan dengan PEF adalah: nonaktivasi mikrobia vegetatif yang sangat cepat, baik mikrobia patogen maupun pembusuk, pada suhu sedang (di bawah 40 atau 50°C), dan membutuhkan energi yang kecil/ sedang (50-400J/ml). Dengan demikian dapat diperoleh sanitasi pangan higienis, penurunan jumlah mikrobia dalam bahan pangan dan perpanjangan masa simpan tanpa mempengaruhi

komponen dan mutu pangan. Adapun keterbatasan PEF menurut Muchtadi dan Sugiyono (2014) adalah:

1. Kurangnya peralatan komersial yang terstandarisasi.
2. Pengaruh terhadap sifat fisik dari produk yang diberi perlakuan. Misalnya dilaporkan munculnya gelembung udara yang tidak diinginkan.
3. Hasil yang terbaik adalah liquid homogen dengan konduktivitas listrik dan viskositas yang rendah. Produk yang mengandung garam sulit untuk diproses. Adanya partikel dalam liquid memberikan pengaruh yang tidak dikehendaki. Adanya partikel yang besar membuat proses menjadi tidak mungkin.
4. Tidak adanya metodologi kuantitatif dalam pengukuran perlakuan.
5. Kurang cukupnya model untuk mengekspresikan kinetika nonaktivasi.

Sedangkan Zeuthen dan Bogh-Sorensen (2003) menambahkan bahwa kelemahan PEF sebagai teknologi pengawetan pangan adalah: a) spora bakteri tidak dinonaktifkan sehingga pangan nonasam yang diperlakukan PEF masih memerlukan pendinginan selama penyimpanan dan distribusi, b) Kebanyakan bahan pangan yang diproses PEF memerlukan penyimpanan suhu dingin untuk memperpanjang masa simpannya karena enzim-enzim hanya dinonaktifkan secara parsial, c) semua elemen pangan harus dijamin telah menerima perlakuan pulsa yang cukup karena pengolahan secara kontinyu akan berdampak pada waktu tunggu dalam ruang proses dengan zona medan listrik

yang tidak seragam, dan d) dapat terjadi perubahan kimia yang sangat besar jika tidak dilakukan pengendalian terhadap fenomena kerusakan dielektrik dan elektrokimia.

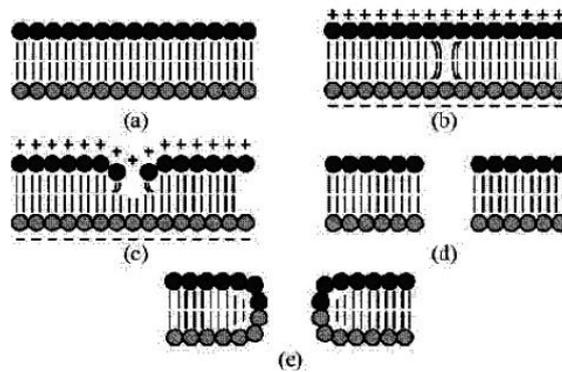
Menurut Troy et al. (2016), salah satu faktor pembatas teknologi PEF adalah kekuatan medan listrik (20-50 kV/cm) yang diperlukan untuk menonaktifkan mikrobia. Kekuatan medan listrik ini baru memungkinkan pada skala laboratorium atau pilot plant, sedangkan untuk unit skala komersial masih memerlukan voltase yang lebih tinggi atau pengaturan elektroda khusus untuk mencapai kondisi yang dikehendaki dalam menonaktifkan mikrobia.

Mekanisme Inaktivasi Mikrobia Akibat Perlakuan PEF

Mekanisme inaktivasi mikroorganisme dengan teknologi medan pulsa listrik tegangan tinggi secara umum dapat didekati dengan dua teori utama, yaitu teori *electrical breakdown*, yang dikembangkan Zimmermann (1986), dan teori *electroporation* yang dikemukakan oleh Castro et al. (1993).

a. Teori *Electrical Breakdown*

Zimmermann (1986), menjelaskan mekanisme inaktivasi mikroorganisme yang disebabkan oleh pengaruh medan listrik dalam teori *electrical breakdown*, sebagai berikut: membran sel dapat diumpamakan sebagai sebuah kapasitor yang terisi oleh larutan dielektrikum seperti ditunjukkan pada Gambar 1. Pada kondisi normal, beda potensial di antara celah tersebut adalah V' (a), dimana dengan adanya pengaruh medan listrik sebesar E maka beda potensial antara keduanya meningkat (b).



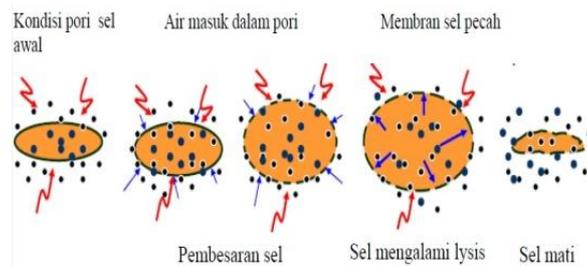
Gambar 1. Diagram Skematik Kerusakan Elektrik (*Electrical Breakdown*) (a) Membran Sel dalam Kondisi Normal, (b) Beda Potensial Di Antara Membran Sel Meningkat, (c) Dinding Sel Menipis, (d) Kerusakan Dinding Sel Masih dapat Pulih (*Reversible*), dan (e) Kerusakan Dinding Sel Bersifat Permanen atau Sel Mengalami Inaktivasi. Sumber: Hariono (2012)

Hal ini akan mengakibatkan ketebalan dinding sel mengecil (c). Kerusakan membran sel akan terjadi apabila beda potensial antara keduanya mencapai titik kritis sebesar V_c , hal ini dapat terjadi bila terdapat intervensi pengaruh medan listrik yang mencukupi sebesar E . Pada tahap ini kerusakan dinding sel masih bersifat dapat pulih (*reversible*) (d), akan tetapi dengan terus bertambahnya pengaruh medan listrik maka akan menyebabkan kerusakan permanen (e).

b. Teori *Elektroporasi*

Studi pengaruh medan listrik terhadap mikrobia memperlihatkan bahwa medan listrik menyebabkan perubahan terhadap membran sel. Pengetahuan ini dalam teknik laboratorium dikenal dengan istilah *elektroporasi*. *Elektroporasi* adalah

peristiwa destabilisasi membran sel karena adanya pengaruh medan pulsa tegangan listrik sesaat (Castro *et al.* 1993). Sedangkan menurut Muchtadi dan Sugiyono (2014), *elektroporasi* didefinisikan sebagai penggunaan medan listrik transmembran yang menginduksi munculnya pori-pori mikroskopis (*electropores*) di dalam membran. Pengaruh utama dari medan listrik terhadap sel mikrobia adalah peningkatan permeabilitas membran akibat kompresi dan porasi membran. Vega- Mercado *et al.* (1996) menyatakan bahwa destabilisasi dinding sel diawali dari terjadinya gejala meningkatnya permeabilitas dinding sel – diikuti oleh penggelembungan dinding sel – dan akhirnya terjadi kerapuhan membran sel seperti ditunjukkan Gambar 2.



Gambar 2. Elektroporasi Membran Sel karena PEF. Sumber: Hariono (2012)

Adanya pori-pori pada membran sel menyebabkan molekul-molekul, ion dan air melewati membran dari sisi yang berlainan. Plasma membran sel menjadi permeabel terhadap molekul kecil setelah diekspos dengan medan listrik, kemudian menyebabkan pembengkakan dan kadang-kadang sampai menyebabkan kerusakan membran sel. Studi terhadap survival mikrobia pada medan listrik memperlihatkan bahwa inaktivasi dapat tercapai dengan aplikasi pulsa medan listrik 20kV atau lebih. Efek yang dihasilkan merupakan efek nontermal yang menyebabkan kerusakan membran. Parameter yang mempengaruhi inaktivasi mikrobia menggunakan PEF adalah intensitas medan listrik dan waktu (jumlah pulsa dikaitkan dengan lamanya masing-masing pulsa) (Muchtadi dan Sugiyono, 2014).

Efek Perlakuan PEF terhadap Komponen Bahan Pangan

Perlakuan PEF tidak mengubah konformasi protein pangan. Putih telur yang diperlakukan PEF yang mampu menonaktifkan Salmonella ternyata tidak ditemukan kejadian denaturasi protein di dalamnya. Larutan ovalbumin (2% w/v dalam bufer fosfat pH 7) yang diperlakukan PEF menunjukkan adanya penguraian protein secara parsial dan peningkatan ionisasi SH menjadi bentuk S yang lebih reaktif. Namun reaktivitas SH dapat dikembalikan dan menurun drastis jika ovalbumin yang diberi PEF disimpan pada suhu 4°C selama lebih dari 30 menit. Perlakuan PEF (kekuatan

medan listrik 25 kV/cm selama 800 μ s) tidak membentuk agregat dalam larutan ovalbumin dan lisozim. Tetapi jika lisozim (0,05%) dicampur dalam larutan ovalbumin (0,2%), maka akan terbentuk agregat protein tak larut karena interaksi elektrostatis dan ikatan disulfide (Wu et al., 2015). Prosesing PEF pada susu segar yang mampu menonaktifkan mikrobia patogen tidak menyebabkan perubahan ukuran distribusi misel kasein, tetapi mengubah sifat koagulasi misel kasein oleh rennet (Zeuthen and Bogh-Sorensen, 2003).

Muslim dkk. (2013) menyatakan bahwa pasteurisasi susu dengan variasi tegangan dan waktu 90 detik dapat menurunkan jumlah mikroba *Staphylococcus aureus*. Jumlah mikroba awal sebesar $1,6 \cdot 10^3$ CFU/ml. Jumlah penurunan mikroba terendah terjadi pada tegangan 20 kV mencapai 27,7% sebesar $1,157 \cdot 10^3$ CFU/ml dan tertinggi pada tegangan 80 kV mencapai 75,2% sebesar $3,97 \cdot 10^2$ CFU/ml. Pasteurisasi susu dengan sistem PEF tidak mempengaruhi sifat fisik dan kimia pada susu. Hal ini dapat dilihat pada hasil analisa yang telah dilakukan meliputi: kadar air berkisar 89,51 - 90,06%, berat jenis berkisar 1,0183 - 1,0205 g/ml, titik didih berkisar 99,2 - 99,7 °C, titik beku berkisar -8,995 s/d -10,37°C, dan viskositas berkisar 0,9797 - 0,9917 cp. Begitu pula terhadap sifat kimia dalam susu seperti pH susu yang berkisar 6,57 - 6,59. Teknologi PEF dengan metode nontermal juga tidak mempengaruhi kandungan gizi dalam susu meliputi: vitamin C yang berkisar

0,288 - 0,31 mg/100g dan protein yang berkisar 2,12 - 2,88%.

Ada dua pendapat yang berkembang tentang efek perlakuan PEF terhadap enzim dalam bahan pangan. Enzim lebih resisten terhadap PEF daripada sel vegetatif mikrobia. Oleh karena itu beberapa peneliti dalam pengamatan yang ketat tidak dapat melihat adanya enzim nonaktif oleh PEF secara nyata. Sedangkan peneliti yang lain dengan enzim yang sama atau enzim yang berbeda dapat mengamati adanya enzim nonaktif sebesar 30-95%. Beberapa enzim lebih sensitif daripada enzim lainnya terhadap medan listrik karena kandungan α -heliks yang lebih tinggi dalam strukturnya dan ditandai oleh konformasi dipolar. Perbedaan kekuatan medan listrik dan kerapatan energi listrik yang hilang menjelaskan fenomena perbedaan pengaruh PEF pada enzim, meskipun dilakukan pada suhu sampel yang dipertahankan di bawah suhu tingkat nonaktivasi oleh panas.

Enzim cenderung sangat resisten terhadap nonaktivasi jika diproses dalam pangan atau bersama dengan substratnya. Misalnya enzim alkalin fosfatase yang ada di dalam susu segar, yang tidak dapat dinonaktifkan pada 20kV/cm; kecuali pulsa listrik yang cukup untuk menaikkan suhu susu menjadi 70°C maka enzim akan nonaktif sebesar 74%. Demikian pula enzim laktoperoksidase dalam susu segar tidak dinonaktifkan pada 19kV/cm bersuhu maksimum 35°C, meskipun dengan kerapatan energi input yang tinggi sebesar 500J/g. Penelitian terhadap alkalin fosfatase oleh Castro et al. (2001b) menunjukkan bahwa terjadi perubahan spektrum serapan UV terhadap enzim alkalin fosfatase dan kerentanan terhadap proteolisis tripsin setelah diberikan perlakuan PEF. Kondisi ini memperlihatkan bahwa pulsa listrik mengubah struktur sekunder enzim. Pengukuran nilai Km menunjukkan bahwa afinitas enzim yang diperlakukan PEF menjadi menurun terhadap substrat

fluorofos. Penelitian lain yang dilakukan juga oleh Castro et al. (2001a) menemukan bahwa molekul enzim alkalin fosfatase tidak terhidrolisis, tetapi mengalami perubahan yang berhubungan dengan tahapan nonaktivasi molekul yaitu: 1) polarisasi; 2) penguraian parsial dengan gugus hidrofobik alifatik yang terpapar ke permukaan; dan 3) agregasi protein-protein sebagai akibat dari tahapan sebelumnya. Resistensi enzim alkalin fosfatase disebabkan oleh adanya 45% asam amino penyusun enzim yang membentuk struktur α -heliks dan kemampuan enzim ini untuk melakukan regenerasi parsial setelah perlakuan panas yang ringan.

Enzim laktat dehidrogenase dari jantung sapi yang merupakan enzim tetramerik tidak terpengaruh oleh PEF (pulsa exponential decay 31,6kV/cm; suhu sampel < 35°C; energy yang hilang sebesar 580J/ml (Barsotti et al., 2002). Struktur tetramerik tidak dipengaruhi oleh pulsa voltase tinggi, sehingga resistensi enzim terhadap perlakuan PEF tidak selalu tergantung pada besarnya penguraian struktur sekunder dan atau tersier enzim. Oleh karena itu perlu dilihat apakah perubahan rantai samping asam amino atau perpindahan/penggantian ion logam dapat berhubungan dengan mekanisme nonaktivasi enzim oleh pulsa listrik yang kuat.

Prosesing PEF dengan kondisi perlakuan yang diketahui dapat menurunkan jumlah mikrobia dalam susu tidak mempengaruhi kadar beberapa vitaminnya, kecuali asam askorbat (vitamin C) yang hilang sebesar 39% dalam susu skim yang diultrafiltrasi dan 28% dalam susu skim. Komponen lain dalam susu kelihatan berusaha menjadi pelindung bagi vitamin C. Tingkat kehilangan vitamin C ini dapat dikurangi dengan melakukan langkah deaerasi pada susu sebelum perlakuan PEF. Terkait dengan aspek sensori susu, studi awal tentang perlakuan PEF pada susu untuk

tujuan pasteurisasi tidak mengubah distribusi ukuran globula lemak. Pada susu dengan konsentrasi lemak yang ditingkatkan (sekitar 35% lemak, pH 6,7) maka perlakuan PEF yang diberikan cenderung memisahkan agregat globula lemak yang besar tanpa mengubah rata-rata diameter globula atau permukaan antarmuka. Dengan demikian pulsa listrik sedikit mendispersikan tetesan minyak yang berukuran besar menjadi tetesan minyak berukuran lebih kecil yang seragam pada emulsi dengan pH 6.

Efek PEF pada biopolimer tergantung pada beberapa parameter yaitu kekuatan medan listrik, total waktu perlakuan pulsa dan kerapatan energi yang hilang, jenis pulsa, suhu maksimum, pH dan resistensi spesifik biopolimer. Dua fenomena yang dapat meningkatkan perubahan kimia dengan jelas adalah kerusakan dielektrik dan reaksi elektrokimia.

Aplikasi PEF pada Daging

Aplikasi prosesing PEF telah menunjukkan kemampuannya untuk menonaktifkan mikrobia patogen dan pembusuk pada suhu kamar, sehingga dapat memperpanjang umur simpan produk pangan yang berbeda, tanpa menyebabkan perubahan yang negatif terhadap sifat sensori dan nutrisi bahan pangan (Griffiths and Walkling-Ribeiro, 2014). Perlakuan PEF dapat menginduksi perubahan struktur dan tekstur daging, berpotensi memperbaiki sifat-sifat fungsional daging atau membantu dalam pengembangan produk baru dari daging (Faridnia *et al.*, 2015). Kajian yang telah dilakukan memperlihatkan bahwa perlakuan PEF dapat meningkatkan keempukan dan sifat mutu daging sapi (Bekhit *et al.*, 2016; Suwandy *et al.*, 2015a, 2015b; Arroyo *et al.*, 2015).

PEF dapat digunakan untuk memperbaiki kelemahan teknologi sebelumnya seperti metode peregangan mekanik (SmartStretchTM/SmartshapeTM) dan

Tenderbound, maupun teknologi stimulasi listrik untuk mengurangi kealotan daging sapi. Kelebihan teknologi PEF adalah dapat diterapkan untuk otot yang berbeda-beda, waktu sebelum atau setelah rigor mortis. Batas kritis potensial listrik transmembran sel hewan adalah 0,5 kV/cm (Topfl, 2006). Jika melebihi potensial listrik ini, maka akan terjadi elektroporasi sel. Suhu daging yang diberi perlakuan PEF akan meningkat dengan meningkatnya intensitas (voltase dan frekuensi) perlakuan. Perlakuan PEF juga meningkatkan konduktivitas otot sapi dengan kisaran dari 1,1 – 3,1 mS untuk otot *Longissimus lumborum* (LL) dan 1,3 – 3,5 mS untuk otot *Semimembranosus* (SM). Nilai pH otot mengalami penurunan sebesar -0,02 – (-0,13) untuk otot LL dan -0,02 – (-0,08) untuk otot SM disebabkan oleh perlakuan PEF.

Pada otot SM, perlakuan PEF dapat meningkatkan *purge loss* sebesar 1,2% dibandingkan sampel yang tidak diberikan PEF. Myofibril daging terutama bertanggung jawab terhadap WHC daging (Schafer *et al.*, 2002; Wiklund *et al.*, 2001). Denaturasi protein otot, terutama myosin, menyebabkan penurunan WHC daging. Lebih lanjut pengerutan dan kontraksi miofibrilar sebagaimana denaturasi myosin dapat meningkatkan ruang ekstraseluler yang menyebabkan perubahan permeabilitas sel terhadap air sehingga meningkatkan kehilangan drip (*drip loss*). Penerapan PEF dapat menyebabkan perubahan struktur miofibriler yang berperan untuk menurunkan WHC otot, baik berupa kerusakan fisik (misalnya super kontraksi) atau oleh peningkatan suhu yang dapat mempengaruhi proteolisis sehingga meningkatkan kehilangan air.

Cooking loss otot LL *hot-boned* yang diperlakukan PEF rata-rata lebih tinggi sebesar 1,2% lebih kehilangan berat dibandingkan sampel yang tidak diberi PEF. Hasil yang berbeda diperoleh untuk otot LL *cold-boned* yang memiliki

cooking loss lebih kecil dibandingkan sampel kontrol yang tidak diberi perlakuan PEF (Bekhit et al., 2014). Untuk otot SM *hot-boned*, nilai *cooking loss* dipengaruhi oleh pelayuan. *Cooking loss* menurun dengan peningkatan lama waktu pelayuan, dan hasil ini sama dengan yang diperoleh untuk *cooking loss* otot SM *cold-boned* (Bekhit et al., 2014).

Efek PEF pada daging tergantung pada status *postmortem* daging. Suhu penyimpanan prarigor dapat mempengaruhi kecepatan dan besarnya pengempukan karena efek negatif suhu tinggi terhadap proses proteolisis *postmortem*. Keempukan daging yang distimulasi listrik maupun tidak distimulasi listrik dapat meningkat jika dipaparkan pada suhu prarigor sekitar 10-15°C dan menurun ketika dipaparkan pada suhu di atas 25°C atau di bawah 10°C (Devine et al., 2002).

PEF dapat digunakan untuk mengempukkan otot *Semimembranosus* (SM) dengan reduksi *shear force* sebesar 21,6%. Sedangkan pada otot *Longissimus lumborum* (LL) berefek sebaliknya yaitu otot LL cenderung lebih alot dengan peningkatan frekuensi perlakuan. Frekuensi 20 Hz merupakan frekuensi yang paling besar mempengaruhi peningkatan proteolisis protein miofibriler daging. PEF dapat digunakan untuk mengempukkan daging SM daripada LL. *Cooking loss* otot SM yang diperlakukan PEF cenderung menurun selama waktu pelayuan sampai 21 hari dan *purge loss* meningkat secara nyata dengan perlakuan PEF. Sedangkan pada otot LL diperoleh hasil sebaliknya yakni *cooking loss* meningkat, sedangkan *purge loss* yang tetap. Penggunaan PEF untuk pengempukan daging tergantung pada jenis otot yang diperlakukan dengan intensitas PEF optimum. Teknologi PEF dapat mempercepat pelepasan enzim (misalnya μ -calpain) dan proses glikolisis yang diperlukan untuk proteolisis dini yang menyebabkan kondisi optimum

untuk pengempukan daging (Suwandy et al., 2015b).

Beberapa protein daging yang mengalami proteolisis karena perlakuan PEF adalah miosin rantai berat, troponin-T dan desmin. Degradasi protein miosin rantai berat menghasilkan protein berbobot molekul 90 dan 110 kDa, sedangkan degradasi protein troponin-T menghasilkan fraksi protein daging berberat molekul 27-32kDa. Degradasi protein troponin-T digunakan sebagai indikator terjadinya degradasi protein miofibriler selama pelayuan (Sun et al., 2014). Oleh karena itu peningkatan proteolisis protein troponin-T berhubungan dengan peningkatan proses pengempukan daging sapi (Han et al., 2009) dan berkaitan pula dengan nilai *shear force* (Marino et al., 2013). Perlakuan PEF juga menyebabkan degradasi protein desmin yang lebih besar dibandingkan kontrol. Degradasi protein desmin pada daging sapi bagian loin akan meningkat dengan lama pelayuan (Suwandy et al., 2015a). Suhu pascaperlakuan yang lebih tinggi adalah penyebab perbedaan tingkat proteolisis antara sampel daging sapi *cold-boned* dan *hot-boned* (Suwandy et al., 2015b).

Bekhit et al. (2016) melaporkan bahwa perlakuan PEF (10kV, 90 Hz, 20 μ s) yang berulang sampai 3 kali memberikan pengaruh yang berbeda pada WHC dan keempukan otot LL dan otot SM. WHC otot LL tidak dipengaruhi oleh PEF karena peningkatan nilai *purge loss* diimbangi dengan penurunan nilai *cooking loss*nya. Perlakuan PEF efektif meningkatkan keempukan otot SM yang ditunjukkan dengan nilai *shear force* yang terendah pada 3 hari pascaperlakuan PEF, namun efeknya akan hilang dengan waktu pelayuan yang lebih lama. Peningkatan proteolisis protein troponin-T juga terjadi sangat besar dengan satu kali saja perlakuan PEF. Dengan demikian teknologi PEF disamping cepat (waktu proses sebenarnya hanya dalam kisaran detik) dan proses hijau (proses

PEF menggunakan listrik dan ramah lingkungan) dapat digunakan untuk memperbaiki keempukan daging, terutama keempukan otot SM saat *postmortem* awal jika otot tersebut diperlakukan dengan cara yang tepat untuk mengoptimalkan kualitas produk.

KESIMPULAN

Teknologi PEF merupakan salah satu teknologi nontermal yang digunakan untuk memenuhi permintaan konsumen akan produk dengan sifat-sifat kesegaran seperti bahan baku asalnya. Penggunaan teknologi PEF pada daging memberikan pengaruh yang berbeda (baik suhu, konduktivitas, pH, WHC, *cooking loss*, *purge loss*, *shear force* dan proteolisis protein miofibriler) tergantung pada penanganan karkas (*hot-boned* atau *cold-boned*), jenis otot (bagian daging), dan status *postmortem*, lama pelayuan, suhu penyimpanan serta tingkat proteolisis protein miofibriler seperti miosin rantai berat, troponin-T dan desmin dalam daging. Teknologi PEF dapat memperbaiki WHC dan keempukan daging, di samping menonaktifkan mikrobia, sehingga berpotensi digunakan untuk meningkatkan kualitas daging.

DAFTAR PUSTAKA

- Arroyo, C., D. Lascorz, L. O'Dowd, F. Noci, J. Arimi, and J. G. Lyng., 2015. Effect of Pulsed Electric Field treatments at various stages during conditioning on quality attributes of beef longissimus thoracis et lumborum muscle. *Meat Science* 99:52–59.
- Barsotti L, E. Dumay, T. H. Mu, M. D. Fernandez-Diaz and J. C. Cheftel. 2002. Effects of high voltage electric pulses on protein-based food constituents and structures. *Trends Food Sci. Technol.*, 12:136-144.
- Bekhit, A. E. D., R. van de Ven, V. Suwandy, F. Fahri, and D. L. Hopkins. 2014. Effect of pulsed electric field treatment on cold-boned muscles on different potential tenderness. *Food and Bioprocess Technology*, 7:3136–3146.
- Bekhit, A. E. D. A., V. Suwandy, A. Carne, R. van de Ven, and D. L. Hopkins. 2016. Effect of repeated pulsed electric field treatment on the quality of hot-boned beef loins and topsides. *Meat Science*, 111:139–146.
- Castro, A.J, G.V. Barbosa-Cánovas and B.G. Swanson. 1993. Microbial inactivation of foods by pulsed electric fields. *J Food Proc Pr* 17:47-73.
- Castro, A J, B. G. Swanson, G. V. Barbosa-Canovas and A. K. Dunker. 2001. Pulsed electric field denaturation of bovine alkaline phosphatase. In Barbosa-Canovas G V and Zhang Q H, eds, *Pulsed Electric Fields in Food Processing: Fundamental Aspects and Applications*, Technomic Pub. Co., Lancaster (PA), USA. 83-103.
- Castro, A J, B. G. Swanson, G. V. Barbosa-Canovas and Q. H. Zhang. 2001. Pulsed electric field modification of milk alkaline phosphatase activity. In Barbosa-Canovas G V and Zhang Q H, eds, *Pulsed Electric Fields in Food Processing: Fundamental Aspects and Applications*, Technomic Pub. Co., Lancaster (PA), USA. 65-82.

- Devine, C. E., S. R. Payne, B.M. Peachey, T. E. Lowe, Ingram, and C. J. Cook, 2002. High and low rigor temperature effects on sheep meat tenderness and ageing. *Meat Science*, 60:141–146.
- Elez-Martinez, P., A. Sobrino-Lopez, R. Soliva-Fortuny, and O. Martin-Belloso. 2012. Pulsed electric field processing of fluid foods. In B. K. T. P. J. Cullen, & Vasilis Valdramidis (Eds.), *Novel Thermal and Non-Thermal Technologies for Fluid Foods*. London, UK: Elsevier Incorporation.
- Faridnia, F., Q. L. Ma, P. J. Bremer, D. J. Burritt, N. Hamid, and I. Oey. 2015. Effect of freezing as pre-treatment prior to pulsed electric field processing on quality traits of beef muscles. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 29: 31–40.
- Gauri M. 2009. Non-thermal food processing with pulsed electric field technology. *Food safety series*. [Maret 2009].
- Griffiths, M.W. and M. Walkling-Ribeiro. 2014. Chapter 7 — Pulsed electric field processing of liquid foods and beverages. In D. -W. Sun (Ed.), *Emerging technologies for food processing* (pp. 115–145) (2nd ed.). San Diego: Academic Press.
- Han, J., J. D. Morton, A. E. D. Bekhit, and J. R. Sedcole. 2009. Pre-rigor infusion with kiwifruit juice improves lamb tenderness. *Meat Science*, 82 (3):324–330.
- Hariono, B. 2012. Pengembangan Sistem Pasteurisasi Berbasis Kombinasi Ultraviolet (UV) dan Medan Pulsa Listrik Tegangan Tinggi (HPEF) untuk Susu Kambing. Disertasi Sekolah Pascasarjana IPB. Bogor.
- Marino, R., M. Albenzio, A. D. Malva, A. Santillo, P. Loizzo, and A. Sevi. 2013. Proteolytic pattern of myofibrillar protein and meat tenderness as affected by breed and aging time. *Meat Science*, 95:281–287.
- Muchtadi, T.R. dan F. Ayustaningwarno, 2010. *Teknologi Proses Pengolahan Pangan Cetakan Keempat*. Penerbit Alfabeta. Bandung.
- Muchtadi, T.R. dan Sugiyono, 2014. *Prinsip Proses & Teknologi Pangan*. Penerbit Alfabeta. Bandung.
- Muslim, C., L. C. Hawa, dan B. D. Argo, 2013. Pasteurisasi Non-Termal Pada Susu Sapi Segar untuk Inaktivasi Bakteri *Staphylococcus aureus* Berbasis Pulse Electric Field (PEF). *Jurnal Keteknik Pertanian Tropis dan Biosistem*, 1 (1): 35-49.
- O'Dowd, L. P., J. M. Arimi, F. Noci, D. A. Cronin, and J. G. Lyng. 2013. An assessment of the effect of pulsed electrical fields on tenderness and selected quality attributes of post rigour beef muscle. *Meat Science*, 93(2):303–309.
- Schafer, A., K. Rosenvold, P. P. Purslow, H. J. Andersen, and P. Henckel. 2002. Physiological and structural events post mortem of importance for drip loss in pork. *Meat Science*, 61:355–366.

- Sun, X., K. J. Chen, E. P. Berg, D. J. Newman, C. A. Schwartz, and W. L. Keller. 2014. Prediction of troponin-T degradation using color image texture features in 10 d aged beef longissimus steaks. *Meat Science*, 96:837–842.
- Suwandy, V., A. Carne, R. van de Ven, A. E. D. A. Bekhit, and D. L. Hopkins. 2015a. Effect of pulsed electric field on the proteolysis of cold boned beef M. Longissimus lumborum and M. Semimembranosus. *Meat Science*, 100:222–226.
- Suwandy, V., A. Carne, R. van de Ven, A. E. D. A. Bekhit, and D. L. Hopkins. 2015b. Effect of pulsed electric field treatment on hot-boned muscles of different potential tenderness. *Meat Science*, 105:25–31.
- Töpfl, S. 2006. Pulsed electric fields (PEF) for permeabilization of cell membranes in food and bioprocessing: Applications, process and equipment design and cost analysis. (PhD thesis) Germany: Universität Berlin.
- Troy, D.J., K. S. Ojha, J. P. Kerry and B. K. Tiwari. 2016. Sustainable and consumer-friendly emerging technologies for application within the meat industry: An overview. *Meat Science* 120:2–9.
- [USFDA] United State Food Drug Administration., 2000. Kinetics of microbial inactivation for alternative food processing technologies pulsed electric fields. Center for food safety and applied nutrition.
- Vega-Mercado, H, U.R. Pothakamury, F.J. Chang, G.V. Barbosa-Cánovas, and B.G. Swanson. 1996. Inactivation of *Escherichia coli* by combining pH, ionic strength and pulsed electric fields hurdles. *J Food Res Int* 29:117-121.
- Wiklund, E., J. M. Stevenson-Barry, S. J. Duncan, and R. P. Littlejohn. 2001. Electrical stimulation of red deer (*Cervus elaphus*) carcasses — Effects on rate of pH-decline, meat tenderness, colour stability and water-holding capacity. *Meat Science*, 59 (2): 211–220.
- Wu, L., W. Zhao, R. Yang and W. Yan, 2015. Pulsed electric field (PEF)-induced aggregation between lysozyme, ovalbumin and ovotransferrin in multi-protein system. *Food Chemistry* 175:115–120.
- Zeuthen, P. and L. Bøgh-Sørensen, 2003. *Food Preservation Techniques*. CRC Press. Boca Raton, USA.
- Zimmermann U. 1986. Electrical breakdown, electropermeabilization and electrofusion. *Rev Physiol Biochem Pharmacol.*, 105:175-256.