

PENERAPAN *PULSED ELECTRIC FIELD* PADA PASTEURISASI SARI BUAH APEL VARIETAS ANA: KAJIAN KARAKTERISTIK NILAI GIZI, SIFAT FISIK, SIFAT KIMIAWI DAN MIKROBIA TOTAL

Application of Pulsed Electric Field in Pasteurization of Apple Juice of Ana Cultivar : Study on Nutritional, Physical, Chemical Properties, and Total Microorganism

La Choviya Hawa¹, Ratna Ika Putri²

¹Jurusan Teknik Pertanian Fakultas Teknologi Pertanian Unibraw, Jl. Veteran, Malang 65145, Jawa Timur; ²Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Malang, Jl. Veteran PO Box 04, Malang 65145
Email: el_c_ha@yahoo.com

ABSTRAK

Sari buah apel, yang diekstrak dari apel varietas ana, dipasteurisasi dengan metode *pulsed electric field* (PEF). Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui perubahan karakteristik nilai gizi, sifat fisik, kimiawi dan total mikrobia sari buah apel sesudah dipasteurisasi. Penelitian dilaksanakan bulan Juli sampai dengan Oktober 2009 di Malang. Penelitian ini menggunakan variasi waktu pengolahan 10, 20, 30, 40, 50 dan 60 detik. Parameter pengamatan yaitu vitamin A dan C, kadar air, berat jenis, pH, total padatan terlarut dan total mikrobia. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai gizi, sifat fisik dan kimiawi dari sari apel tidak mengalami perubahan signifikan dibandingkan sari apel tanpa perlakuan PEF. Penurunan total mikrobia terbesar pada waktu perlakuan 60 detik dengan efektivitas pembunuhan sebesar 93,53%.

Kata kunci: Pulsed electric field, waktu pengolahan, sari apel ana

ABSTRACT

Apple juice, extracted from apple of ana cultivar, was pasteurized using a pulsed electric field (PEF) method. The aim of this research was to analyze the changes on nutritional, physical and chemical properties and total microbes from apple juice after pasteurization. The research was conducted from July until Oktober 2009 located in Malang. The PEF treatment was carried out using treatment time variation for 10, 20, 30, 40, 50 and 60 seconds. Several parameters of vitamin A and C, water content, density, pH, total soluble solid and total microbes were observed. The results showed that PEF treatment did not significantly change nutritional, physical and chemical properties and total microbes after pasteurization with PEF in compared with no treatment pasteurization. The highest degradation was found in treatment time for 60 seconds, i.e. 93.53 %.

Keywords: Pulsed electric field, treatment time, ana apple juice

PENDAHULUAN

Proses utama yang banyak dipakai dalam pengolahan sari apel pada saat ini adalah metode *thermal* yaitu suatu proses pengolahan pangan konvensional dengan menggunakan pemanasan antara 60-100 °C seperti pasteurisasi dan sterilisasi. Selama proses tersebut, energi dalam jumlah besar ditransferkan ke makanan. Energi ini dapat menyebabkan reaksi yang tidak diinginkan, seperti

kehilangan nutrisi esensial, dan perubahan warna, bau dan rasa. Fakta ini menunjukkan bukan hanya daya tahan makanan yang diperlukan tetapi kualitas juga penting untuk konsumsi masyarakat.

Metode *non thermal* yang sedang dikembangkan adalah dengan menggunakan kejutan listrik tegangan tinggi (*Pulse Electric Field*/ PEF), yaitu proses pengolahan bahan pangan yang didasarkan pada aplikasi denyut pendek pada tegangan tinggi (20-80 kV/cm) ke bahan makanan yang ditempatkan

diantara 2 elektroda pada suhu kamar atau di bawahnya selama beberapa detik, untuk memperkecil kerusakan yang disebabkan oleh pemanasan. Metode ini sangat efektif karena dapat menginaktivasi mikroorganisme sampai 99 % tanpa merubah warna, bau, dan kandungan gizi dalam waktu yang sangat singkat (Barbosa dkk.,1999).

Parameter terpenting yang harus diperhatikan dalam pengolahan dengan metode PEF adalah parameter proses yaitu kekuatan kejutan listrik, lebar pulsa, jumlah pulsa dan desain wadah pengolahan (*chamber*). Sel membran bakteri akan mengalami kerusakan yang menyebabkan bakteri tersebut mati jika mendapatkan kejutan listrik lebih besar dari 25kV/cm dengan lebar pulsa 100–200 ns (Van Heesch dkk., 2004). Kekuatan kejutan listrik tergantung pada tegangan pulsa tegangan tinggi yang diberikan pada *chamber*, sedangkan jumlah pulsa tergantung pada lamanya waktu pengolahan (Ziwei dkk., 2006). Untuk mendapatkan kejutan listrik yang sesuai untuk in aktivasi mikroorganisme diperlukan pengaturan besarnya pulsa tegangan tinggi yang dapat diberikan pada *chamber* dan juga pengaturan pulsa tegangan tinggi.

Dari hasil penelitian ini diharapkan dapat diperoleh sari buah apel yang berkualitas dengan menganalisa perubahan kandungan gizi yang meliputi vitamin A dan C, sifat fisik yang meliputi kadar air dan berat jenis, sifat kimiawi yang meliputi pH dan total padatan terlarut dan total mikrobia dari hasil pasteurisasi menggunakan teknologi PEF.

METODE PENELITIAN

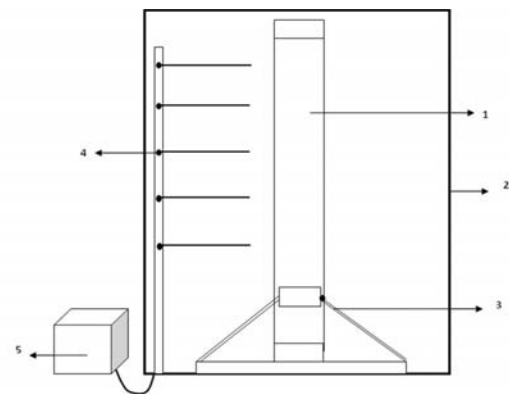
Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan adalah sari buah apel Ana yang diperoleh dari ekstraksi buah apel Ana tanpa penambahan bahan lain. Apel Ana dibeli dari Pasar Batu-Malang. Bahan lain adalah alkohol 95 %, kapas dan botol steril.

Alat yang digunakan adalah rangkaian alat PEF, voltmeter tegangan tinggi, pH meter, *colour reader*, brix meter, *juice extractor*, dan *cool box*.

Metode Penelitian

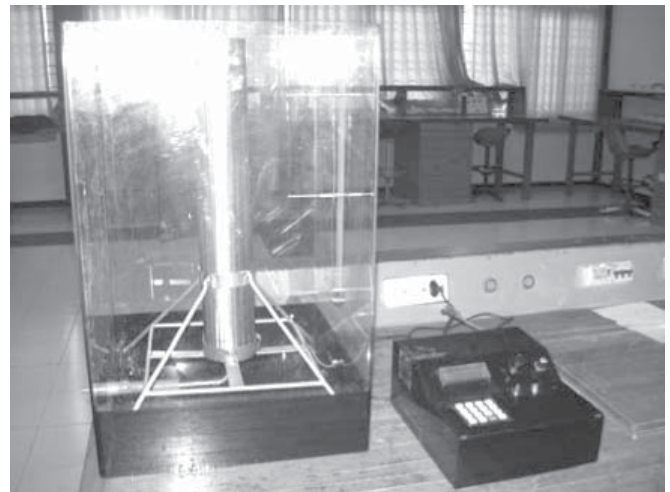
Penelitian dilaksanakan pada bulan Juli sampai Oktober 2009 di Jurusan Keteknikan Pertanian Universitas Brawijaya. Metode yang digunakan ialah metode eksperimental deskriptif. Pengujian dilakukan dengan memvariasikan waktu pengolahan. Waktu pengolahan yaitu 10, 20, 30, 40, 50 dan 60 detik. Volume sari apel yang dimasukkan dalam *treatment chamber* sebanyak 1 liter. Rangkaian alat pasteurisasi dan ditunjukkan pada Gambar 1a dan 1b.



Keterangan :

1. Treatment chamber
2. Box mika
3. Kaki penyangga dengan ground
4. Elektroda
5. Box pembangkit tegangan tinggi

Gambar 1a. Alat pasteurisasi dengan *pulsed electric field*



Gambar 1b. Rangkaian alat *pulsed electric field*

Untuk setiap waktu pengolahan dengan PEF akan diambil sampel sejumlah 3 (tiga) ulangan yang kemudian akan dianalisa perubahan nilai gizi (vitamin A dan C), sifat fisik (kadar air dan berat jenis), sifat kimia (pH dan total padatan terlarut) dan akan dihitung jumlah mikrobia (total mikrobia, coliform dan *staphylococcus aureus*) yang terkandung dalam sari buah apel hasil pengolahan dengan PEF.

Pembangkit pulsa tegangan tinggi yang digunakan pada pasteurisasi susu dengan metode PEF ini terdiri dari beberapa blok yaitu blok *keypad*, mikrokontroler, tampilan, rangkaian *flyback converter*, trafo tegangan tinggi dan tempat perlakuan (*chamber*). Keypad berfungsi untuk memasukkan *setting* tegangan tinggi dan waktu yang dibutuhkan selama *treatment*.

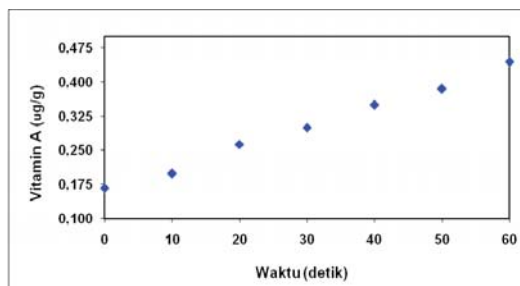
Tegangan tinggi dapat diatur 20 kV hingga 100 kV dan lama treatment dapat diatur pada jangkauan 1 detik hingga 99 detik. Mikrokontroler berfungsi untuk menampilkan tegangan tinggi dan waktu *treatment* yang diseting melalui keypad. Rangkaian *flyback converter* akan menerima keluaran mikrokontroler berupa pulsa kotak yang dapat diatur lebar pulsanya. Keluaran *flyback converter* berupa pulsa tegangan akan mencacah tegangan masukan trafo tegangan tinggi sehingga keluaran trafo akan berupa pulsa tegangan tinggi. Trafo tegangan tinggi dapat menghasilkan keluaran maksimum sebesar 100 kV. Frekuensi konstan 20 kHz.

Semua komponen PEF disatukan dalam *box* pembangkit tegangan tinggi yang terbuat dari mika. Pulsa tegangan tinggi yang dihasilkan langsung ditembakkan ke *chamber* (tempat perlakuan) yang bagian luarnya dilapisi oleh elektroda yang terbuat dari tembaga. *Treatment chamber* terbuat dari plat *stainless steel* setebal 4 mm yang aman untuk semua produk bahan pangan. Bentuk *treatment chamber* berupa silinder berkaki empat dengan volume 1.7 liter yang dilengkapi dengan kran pengeluaran. Untuk melindungi keseluruhan alat *pulsed electric field* pada bagian luar diberi penghalang yang terbuat dari *box* mika bening.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Perubahan Nilai Gizi

Vitamin A. Kandungan vitamin A sari apel sebelum pasteurisasi sebesar 0,167 µg/g. Kadar vitamin A tertinggi setelah pasteurisasi pada perlakuan selama 60 detik sebesar 0,444 µg/g dan terendah pada perlakuan selama 10 detik sebesar 0,199 µg/g. Grafik perubahan kandungan vitamin A terhadap waktu perlakuan ditunjukkan pada Gambar 2.



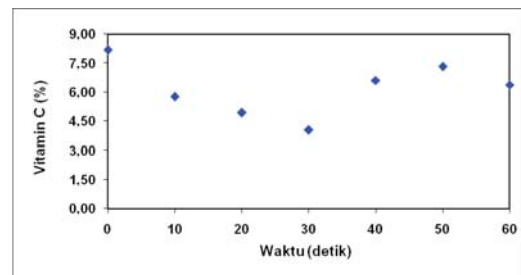
Gambar 2. Perubahan kandungan vitamin A terhadap waktu perlakuan

Pada Gambar 2 tampak bahwa secara umum perlakuan lama pasteurisasi menyebabkan kenaikan kadar vitamin A. Kenaikan kadar vitamin A ini terjadi akibat penurunan jumlah air dari sampel pada saat analisa. Dengan kata lain kadar vitamin A secara keseluruhan relatif tetap dibanding sebelum perlakuan pasteurisasi.

Hal tersebut sesuai dengan penelitian Lee (2006), yang menyimpulkan bahwa pengolahan sari buah apel dengan teknologi PEF tidak menyebabkan kehilangan vitamin C, rasa atau aroma asli dari sari buah apel tersebut.

Bila dibandingkan dengan pasteurisasi secara *thermal*, PEF memiliki keunggulan yaitu dapat menginaktifkan mikroorganisme dan enzim hanya dengan temperatur yang rendah. Selain itu sari buah apel yang dihasilkan dengan menggunakan pulsa tegangan tinggi memiliki nutrisi yang lebih baik, aman dan segar (Aguillar dkk., 2002, Ziwei dkk., 2006).

Vitamin C. Kandungan vitamin C sari apel sebelum pasteurisasi sebesar 8,17 %. Kadar vitamin C tertinggi setelah pasteurisasi pada perlakuan selama 50 detik sebesar 7,31 % dan terendah pada perlakuan selama 30 detik sebesar 4,04 %. Grafik perubahan kadar vitamin C terhadap waktu perlakuan ditunjukkan pada Gambar 3.



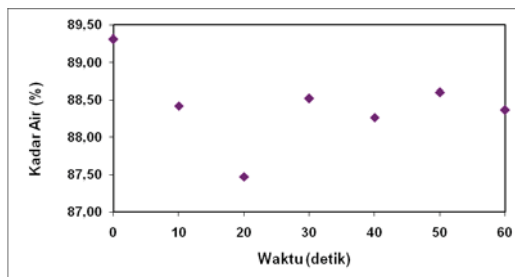
Gambar 3. Perubahan kandungan vitamin C terhadap waktu perlakuan

Pada Gambar 3 tampak bahwa adanya perlakuan pasteurisasi *nonthermal* dengan *pulsed electric field* akan menyebabkan penurunan kadar vitamin C, namun perubahan ini cenderung tidak signifikan dibandingkan tanpa PEF. Menurut Lee (2006) pengolahan sari buah apel dengan menggunakan panas akan mengurangi kualitas sari buah apel yang dihasilkan karena adanya oksidasi yang menyebabkan berkurangnya kandungan vitamin C dan kehilangan rasa dan aroma asli dari apel tersebut. Sedangkan bila menggunakan teknologi PEF, sari buah apel tidak kehilangan vitamin C, rasa atau aroma asli dari sari buah apel tersebut. PEF dapat diaplikasikan untuk bahan pangan cair seperti sirup, susu, sup, telur cair (Fang dkk., 2006) dengan waktu proses yang sangat pendek antara beberapa mikrodetik hingga milidetik dengan pulsa pendek.

Perubahan Sifat Fisik

Kadar air. Kadar air sari apel sebelum pasteurisasi sebesar 89,31 %. Kadar air sari apel tertinggi setelah pasteurisasi pada perlakuan waktu selama 50 detik yaitu sebesar 88,60 %, sedangkan yang terendah pada perlakuan waktu se-

lama 20 detik sebesar 87,47 %. Grafik perubahan kadar air terhadap waktu perlakuan ditunjukkan pada Gambar 4.

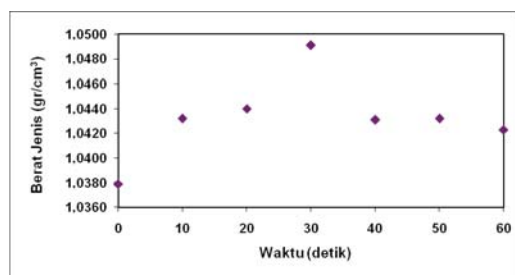


Gambar 4. Perubahan kadar air terhadap waktu perlakuan

Pada Gambar 4 tampak bahwa adanya perlakuan pasteurisasi *nonthermal* dengan *pulsed electric field* menyebabkan penurunan kadar air sari apel, namun penurunannya tidak signifikan.

Menurut Qingke dkk. (2003) dan Fang dkk. (2006), perlakuan kejutan listrik intensitas tinggi akan menginaktivkan mikroorganisme tanpa menimbulkan pengaruh yang merugikan terhadap aroma, rasa dan nutrisi yang biasanya timbul ketika menggunakan pasteurisasi atau sterilisasi *thermal*. Produk sari buah apel yang diolah dengan metode PEF memiliki rasa, warna, aroma dan kualitas yang sama dengan buah apel yang tanpa melalui proses pengawetan serta memiliki waktu penyimpanan yang lebih lama dibandingkan bila menggunakan pasteurisasi HTST (Ribeiro dkk., 2008).

Berat jenis. Berat jenis sari apel sebelum pasteurisasi sebesar 1,0379 g/cm³. Berat jenis sari apel tertinggi setelah pasteurisasi pada perlakuan selama 30 detik yaitu sebesar 1,0491 g/cm³ dan terendah pada waktu 60 detik sebesar 1,0423 g/cm³. Grafik perubahan berat jenis terhadap waktu perlakuan ditunjukkan pada Gambar 5.



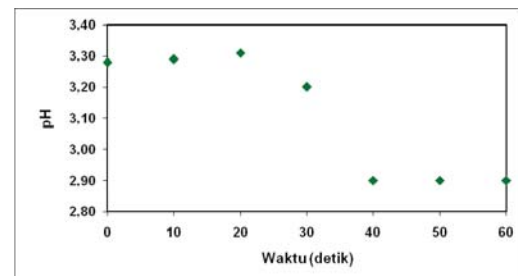
Gambar 5. Perubahan berat jenis terhadap waktu perlakuan

Pada Gambar 5 tampak bahwa adanya perlakuan pasteurisasi *nonthermal* dengan *pulsed electric field* cenderung akan meningkatkan nilai berat jenis, namun perubahannya tidak signifikan.

Aguilar dkk. (2002) membandingkan pengaruh pengolahan sari buah apel secara *thermal* dengan menggunakan PEF terhadap sifat fisik – kimiawi dan rasa sari buah. Pengolahan dengan PEF menggunakan kejutan listrik 35 kV/cm dengan jumlah pulsa 1200 pulsa per detik. Pengolahan PEF memberikan pengaruh yang lebih sedikit terhadap sifat fisik, PH, keasaman, warna dan rasa sari buah apel dibandingkan pasteurisasi secara *thermal*.

Perubahan Sifat Kimiawi

PH. PH sari apel sebelum pasteurisasi sebesar 3,28. PH tertinggi setelah pasteurisasi pada perlakuan selama 20 detik sebesar 3,31 dan terendah pada perlakuan selama 40, 50 dan 60 detik sebesar 2,90. Grafik perubahan pH terhadap waktu perlakuan ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Perubahan pH terhadap waktu perlakuan

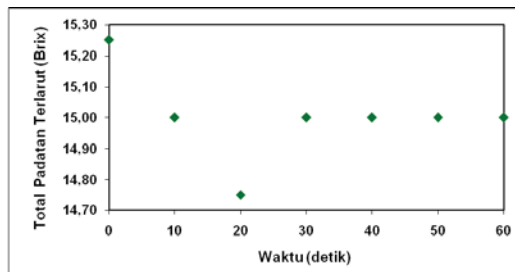
Pada Gambar 6 tampak bahwa pH sari apel hasil pasteurisasi *nonthermal* menggunakan *pulsed electric field* cenderung akan menurunkan pH sari apel namun perubahannya tidak signifikan dan masih berada pada kisaran rata-rata dengan pH sebelum pasteurisasi.

Aguilar dkk. (2002) menyatakan bahwa pengolahan PEF memberikan pengaruh yang lebih sedikit terhadap pH, keasaman, warna dan rasa sari buah apel dibandingkan pasteurisasi secara *thermal*. Hal ini sejalan dengan penelitian Rivas dkk (2006) bahwa pH dari campuran sari buah jeruk dan wortel yang diberi perlakuan PEF tidak berubah secara signifikan ($P > 0,05$). Perubahan hanya terjadi pada akhir minggu ke 8,5 pada saat campuran sari buah disimpan dalam suhu 12 °. Saldana, Sthepens dan Lime (1976) juga mengamati bahwa terjadi perubahan yang tidak signifikan dari sari buah wortel yang dipasteurisasi dengan PEF.

Hal tersebut juga didukung penelitian Yeom dkk (2000) yang tidak menemukan perubahan pH dari sari buah jeruk yang diberi perlakuan PEF (35 kV/cm, 59µs) dan disimpan pada suhu 12 °C selama 112 hari.

Total padatan terlarut. Total padatan terlarut sari apel sebelum pasteurisasi sebesar 15,25 ° Brix. Nilai total padatan terlarut dari sari apel sesudah pasteurisasi cenderung

tidak mengalami perubahan yaitu sebesar 15 Brix, kecuali pada perlakuan selama 20 detik sebesar 14,25 Brix. Grafik perubahan total padatan terlarut terhadap waktu perlakuan ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 7. Perubahan total padatan terlarut terhadap waktu perlakuan

Pada dasarnya total padatan terlarut yang terukur pada refraktometer bukan menunjukkan total sukrosa tetapi total gula secara keseluruhan. Hal ini didukung oleh penelitian McAllister (1980) yang menyatakan bahwa derajat brix merupakan faktor terpenting untuk standar *grading* kualitas sari buah citrus. Mikroorganisme menyebabkan sari buah citrus berjamur akibat fermentasi gula sehingga akan merubah kadar brix.

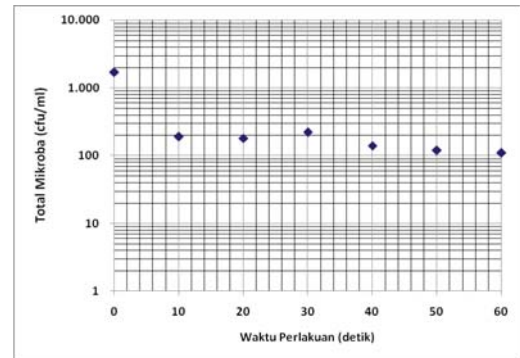
Rivas dkk. (2006) menjelaskan bahwa total padatan terlarut dari campuran sari buah jeruk dan wortel tidak mengalami perubahan signifikan setelah diberi perlakuan PEF pada 25 kV/cm - 280 μs dan 25 kV/cm - 330 μs. Martin dkk. (1995) melakukan studi umur simpan sari buah jeruk pasteurisasi dan mendapati terjadi kenaikan kadar sukrosa sari buah jeruk yang disimpan pada suhu 30 °C sesudah 6 bulan kemudian.

Total mikrobia. Total mikrobia sari apel sebelum pasteurisasi sebesar 1.7×10^3 cfu/ml. Total mikrobia tersebut belum sesuai dengan Standar Nasional Indonesia (SNI) dimana maksimum total mikrobia yang terdapat dalam minuman sari buah adalah 2×10^2 cfu/ml. Total mikrobia tertinggi setelah pasteurisasi pada perlakuan selama 10 detik yaitu sebesar 200 cfu/ml dan terendah pada perlakuan selama 60 detik sebesar 110 cfu/ml. Grafik penurunan total mikrobia terhadap perubahan waktu ditunjukkan pada Gambar 8.

Dari Gambar 8 dapat dihitung nilai efektifitas pembunuhan mikrobia yang merupakan selisih jumlah mikrobia sebelum perlakuan dengan jumlah mikrobia sesudah perlakuan dibagi dengan jumlah mikrobia sebelum perlakuan dikalikan 100 persen. Nilai efektifitas pembunuhan tertinggi pada waktu perlakuan 60 detik sebesar 93,53 % dan terendah pada 10 detik sebesar 88,23 %.

Pada Gambar 8 tampak bahwa dengan semakin lama waktu perlakuan pasteurisasi dengan PEF maka total mikrobia

yang ada dalam sari apel semakin berkurang. Total mikrobia sari apel sesudah pasteurisasi secara umum sudah memenuhi standar SNI, dimana batas maksimum total mikrobia yang diperbolehkan adalah 2×10^2 cfu/ml. Semakin lama waktu pengolahan akan mengakibatkan penurunan total mikrobia yang semakin besar.



Gambar 8. Penurunan total mikrobia terhadap waktu perlakuan

Hasil analisa menunjukkan tidak ditemukan adanya *coliform* dan *Staphylococcus aureus* dalam sari buah apel segar. Pada saat setelah pasteurisasi juga tidak ditemukan adanya koliform dan *Staphylococcus aureus* untuk semua perlakuan waktu. Hal ini sudah sesuai dengan Standar Nasional Indonesia (SNI) dimana batasan maksimum koliform yang diperbolehkan adalah 20 APM/ml dan batasan maksimum *Staphylococcus aureus* yang diperbolehkan adalah 0 koloni/25 ml.

Tidak ditemukannya *coliform* dalam sari buah apel hasil pasteurisasi dikarenakan kondisi pH dari sari apel cukup asam yaitu berkisar antara 2,9–3,31. Pada kondisi asam, koliform dan *Staphylococcus aureus* tidak mampu hidup dengan baik.

PEF merupakan teknologi non thermal terbaru untuk sistem pengolahan bahan pangan cair dan semi padat. Proses meliputi pemberian pulsa pendek selama 1 μs hingga 100 μs dari medan listrik tegangan tinggi antara 20–80 kV/cm ke bahan makanan yang ditempatkan diantara dua elektroda pada suhu kamar (Nieto dkk., 2004). Pemberian pulsa tegangan tinggi pada bahan pangan akan merusak membran bakteri yang menyebabkan bakteri tersebut mati (Birbir, 2006). Kemungkinan yang ditimbulkan dari fenomena ini adalah terjadinya aktivitas metabolisme yang sudah tidak normal lagi atau terjadi peningkatan metabolisme tubuh sel yang terlalu tajam sehingga mengganggu kerja dan fungsi fisiologis sel. Kejut listrik dengan tegangan tinggi menyebabkan terjadinya kerusakan fisik sel. Kematian mikrobia akibat kejut listrik tegangan tinggi diduga dipengaruhi oleh kerusakan struktur sel lainnya, seperti rusaknya membran sitoplasma sel. Meskipun secara alamiah membran sitoplasma mampu disintesa kembali tetapi dengan

tegangan tinggi, kerusakan yang berupa lubang-lubang pada membran luar dari sel tidak mampu diperbaiki lagi, sehingga memungkinkan keluar masuknya senyawa makromolekul dari sel dan menyebabkan kematian (Alberts dkk., 1994).

Lama perlakuan juga berpengaruh pada jumlah penurunan mikrobial, dimana semakin lama waktu perlakuan maka kematian mikrobial juga semakin besar. Diduga bahwa total mikrobial terbesar yang terkandung di dalam sari apel memiliki kerentanan terhadap aliran listrik yang tinggi sehingga menimbulkan angka kematian yang besar. Sedangkan sisa total mikrobial hidup diduga memiliki ketahanan tinggi terhadap kejutan listrik sehingga jumlah perlakuan kejutan listrik selanjutnya tidak begitu besar dalam mematikan total mikrobial tersisa.

Menurut Sitzmann (1995), kematian spora dengan perlakuan pengaliran listrik dibatasi oleh kekuatan medan listrik yang dihasilkan, lama kejutan, jumlah kejutan yang diterapkan dan ukuran sel. Sedangkan menurut Sakurachi dan Kondo dalam Gould (1995), pengaliran listrik dengan tegangan tinggi dalam waktu lama memberikan pengaruh yang lebih besar dalam menurunkan jumlah spora yang terkandung dalam media.

KESIMPULAN

1. Pasteurisasi sari apel dengan PEF tidak mengubah secara signifikan kandungan vitamin A dan C. Vitamin A sesudah pasteurisasi berkisar antara 0,199 – 0,444 µg/g dan vitamin C berkisar antara 4,04–7,31%.
2. Pasteurisasi sari apel dengan PEF tidak mengubah secara signifikan sifat fisik dari sari apel yang meliputi kadar air dan berat jenis. Kadar air sesudah pasteurisasi berkisar antara 87,47–88,6 % dan berat jenis berkisar antara 1,0423–1,0491 gr/cm³.
3. Pasteurisasi sari apel dengan PEF tidak mengubah secara signifikan sifat kimiawi dari sari apel yang meliputi pH dan total padatan terlarut. pH sesudah pasteurisasi berkisar antara 2,9–3,31 dan total padatan terlarut berkisar antara 14,75–15 ° Brix.
4. Nilai efektivitas pembunuhan mikrobial dengan pasteurisasi PEF berkisar antara 88,23-93,53 %.

DAFTAR PUSTAKA

Alberts, B.D. Bray, J. Lewis, M. Raff J. dan M. Robert. (1994). *Biologi Molekuler Sel*. PT. Gramedia Pustaka Utama. Jakarta.

Aguillar-Rosas, S.F, M.L. Ballinas-Casarrubias., G.V. Nevarez-Moorillon, Martin-Belloso O. dan E. Ortega-

Rivas. (2002). *Thermal and pulsed electric field pasteurization of apple juice: effect on physicochemical properties and flavour compound*. Food and Chemical Programme, Autonomous University of Chihuahua. Lleida, Spain.

Barbosa-Cánovas, G. , M.M. Gongora-Nieto, U.R. Pothakamury. dan B.G .Swanson. (1999). *Preservation of foods with pulsed electric fields*. Academic Press Ltd. London.

Birbir, Y. (2006). *Modification of a PEF source that produce both wide and narrow pulses*. Proceeding of the 6th WSEAS/IASME Int. Conf. On Electric Power System. High Voltages. Electric Machines. Tenerife. Spain.

Fang, J., Z. Piao. dan X .Zhang. (2006). Study on high voltage pulsed electric fields sterilization mechanism experiment. *The Journal of American Science* **2**: 39-43.

Gould, G.W. (1995). *New Methods Food Preservatives*. Chapman Hall. New York.

Lee, H.K. (2006). Electrical sterilization of juice by discharged HV impulse waveform. *American Journal of Applied Sciences* **2**: 2076-2078.

Martin, J.J., Solanes, E., Bota, E. dan Sancho, J. (1995). Chemical and Organoleptic Changes In Pasteurized Orange Juice. *Alimentaria* **261**: 59-63.

McAllister, J.W. (1980). *Methods of determining the quality of citrus juice, citrus nutrition and quality*. In S.Nagy, & J.A. Attaway (Eds.), Washington, DC: American Chemical Society.

Nieto G., P.D. Pedrow, B.G. Swanson, dan C Barbosa. (2004). Use of circuit analysis simulation in pulsed electric fields food processing. *Journal of Food Engineering* **61**: 413-420

Ribiero W.M, D.A.Noci. dan Cronin. (2008). Reduction of staphylococcus aureus and quality change in apple juice processed by ultraviolet irradiation, pre-heating and pulse electric field. *Journal of Food Engineering* **89**: 267-273

Rivas, A., D. Rodrigo, A. Martínez, G.V. Barbosa-Cánovas, dan M. Rodrigo. (2006). Effect of PEF and heat pasteurization on the physical-chemical characteristics of blended orange and carrot juice. *Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie* **39**: 1163-1170.

Saldana, G., T.S. Stephens, dan B.J. Lime. (1976). Carrot beverages. *Journal of Food Science* **41**: 1243-1244.

Sitzmann, V. 1995. High Voltage Pulse Technique for Food Preservatives. In : New Method for Food Preservation

- : 236-252. Ed. G.W Gould. London, UK : Blackie Academic and Professional.
- Qingke, L., Z.Changli, dan F. Junlong. (2003). Antiseptic research of liquid food under high voltage pulse. *The Agricultural Mechanization Research* 1: 100-101.
- Van Heesch. B, G.A.J.M. Pemen, dan P. Huijbrechts. (2004). *A fast pulsed power source, applied to treatment of conducting liquids*. IEEE Transaction on Plasma Science.
- Yeom, H.W., C.B. Streaker., Q.H. Zhang., D.B. Min. (2000). Effect of pulsed electric field on the quality of orange juice and comparison with heat pasteurization. *Journal of Agriculture and Food Chemistry* **48**: 4597-4605.
- Ziwei, L., Z.Cheng, G.S. Mittal. (2006). Inactivation of spoilage microorganisms in apple cider using a continuous flow pulsed electric field system. *Journal of Food Sciences* **39**: 350-356.