Jurnal Keteknikan Pertanian Tropis dan Biosistem
Vol. 1 No. 1, Februari 2013, 35-49

Pasteurisasi *Non-Termal* Pada Susu Sapi Segar untuk Inaktivasi Bakteri *Staphylococcus aureus* Berbasis *Pulse Electric Field* (PEF)

Choirul Muslim, La Choviya Hawa*, Bambang Dwi Argo

Jurusan Keteknikan Pertanian - Fakultas Teknologi Pertanian - Universitas Brawijaya
Jl. Veteran, Malang 65145
*Penulis Korespondensi, Email: el_c_ha@yahoo.com

ABSTRAK

Metode kejut listrik intensitas tinggi atau *Pulse Electric Field (PEF)* adalah salah satu metode pengolahan pangan nonthermal dengan menggunakan kejutan listrik intensitas tinggi yang diaplikasikan pada makanan cair seperti susu. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh variasi tegangan (20-80 kV) dengan waktu yang konstan terhadap kematian mikroba *Staphylococcus aureus*, serta pengaruhnya terhadap perubahan sifat fisik, sifat kimia dan kandungan gizi dalam susu. Penelitian yang dilakukan menggunakan variasi tegangan (V) dan waktu (t) yang konstan. Penelitian ini memakai tegangan 20 kV, 40 kV, 60 kVdan 80 kV dengan 3 kali pengulangan. Waktu yang digunakan adalah 90 detik untuk masing-masing tegangan Hasil pengujian menggunakan PEF mampu menurunkan jumlah mikroba *Staphylococcus aureus* dengan jumlah awal mikroba sebanyak $1{,}6.10^3$ CFU/ml. Penurunan terendah terjadi pada tegangan 20 kV mencapai 27,7% dengan jumlah mikroba $1{,}157.10^3$ CFU/ml, dan penurunan tertinggi terjadi pada tegangan 80 kV mencapai 75,2% dengan jumlah mikroba $3{,}97.10^2$ CFU/ml. Laju kematian mikroba *Staphylococcus aureus* tiap detik (lethal rates) sebesar 13,4 CFU/ml pada tegangan 80 kV. Hasil uji tidak berpengaruh secara signifikan terhadap perubahan sifat fisik susu meliputi kadar air berkisar 89,51 - 90,06%, berat jenis berkisar 1,0183 - 1,0205 g/ml, titik didih berkisar 99,2 – 99,7 $^{\circ}$C, titik beku berkisar -8,995 s/d -10,37 $^{\circ}$C, dan viskositas berkisar 0,9797 - 0,9917 cp. Sifat kimia seperti pH berkisar 6,573 - 6,59. Serta nilai gizi dalam susu yang meliputi vitamin C berkisar 0,288 - 0,31 mg/100g dan protein berkisar 2,12 - 2,881%.

Kata kunci: pasteurisasi, susu, *pulse electric field*

Pasteurization Nonthermal of Milk to Inactivate Bacteria Staphylococcus aureus Based Pulse Electric Field (PEF)

ABSTRACT

High intensity pulsed electric field (PEF) processing involves the application of pulses of high voltage to fluid food like milk. The purpose of this study was to determine the influence of voltage (20-80 kV) with a constant time of death microbe Staphylococcus aureus, and the influence on changes in physical properties, chemical and nutritional content in milk. Research carried out using a variation of voltage (V) and time (t) are constant. This study uses voltage 20 kV, 40 kV, 60 kV and 80 kV with a three times repetition. Time is 90 seconds for each voltage. The test results using PEF reduce the number of microbes Staphylococcus aureus with the initial amount of microbes $1{,}6.10^3$ CFU/ml. The lowest decline occurred at 20 kV voltage reaches 27,7% with the number

of microbes 1,157.10^3 CFU/ml, and the highest decrease occurred at 80 kV voltage reaches 75,2% with the number of microbes 3,97.10^2 CFU/ml. Staphylococcus aureus mcrobial death rate per second (lethal rates) amounted to 13,4 CFU/ml at 80 kV voltage. Test results did not effect sgnificant changes in physical properties of milk included water content ranged from 89,51 to 90,06%, density ranged from 1,0183 to 1,0205 g/ml, boiling point ranges from 99,2 to 99,7 °C, freezing point ranging from -8,995 to –10,37°C, and viscosity ranged from 0,9797 to 0,9917 cp. Chemical properties such as pH ranged from 6,573 to 6,59. And the nutritional value of milk, including vitamin C ranged from 0,288 to 0,31 mg/100g and protein ranged from 2,12 to 2,881%.

Key words: pasteurization, milk, pulse electric field

PENDAHULUAN

Produk peternakan seperti susu mempunyai nilai gizi yang sangat tinggi. Nilai gizinya yang tinggi menyebabkan susu menjadi media pertumbuhan dan perkembangan mikroorganisme. Berbagai aktivitas mikroorganisme akan mengubah mutu susu, yang ditandai dengan perubahan rasa, aroma, warna dan penampakan yang akhirnya susu menjadi rusak (Saleh, 2004). Salah satu metode *nonthermal* adalah menggunakan kejutan listrik tegangan tinggi (PEF) tanpa menggunakan energi panas untuk memperkecil kerusakan bahan pangan akibat mikroorganisme. *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 (Barbosa-Cánovas *et al.,* 1999).

Bakteri patogen yang umum mencemari makanan, terutama produk susu antara lain *Salmonella, Staphylococcus aureus,* dan *Bacillus* (Harmayani *et al*., 1996; Rahardjo, 1999 dalam Titiek dkk, 2009). Pertumbuhan bakteri patogen di dalam bahan makanan merupakan hal yang perlu diperhatikan sebab beberapa bakteri patogen mempunyai kaitan erat dengan keracunan makanan. Bakteri ini kerap dijumpai dan dapat bertahan selama proses pengolahan. Selain itu, mereka dapat mengkontaminasi dan berkembang biak dalam makanan olahan pada keadaan tertentu (Fain, 1992 dalam Titiek dkk, 2009). Salah satu mikroorganisme yang berpengaruh terhadap kerusakan pangan olah minimal adalah *Staphylococcus aureus,* yang merupakan bakteri penyebab keracunan yang memproduksi enterotoksin. *Staphylococcus aureus* merupakan patogen indikator sanitasi tangan pekerja, sehingga penting untuk mengetahui keamanan mikrobiologis dari buah olah minimal (Rahmadi, 2009).

Metode nonthermal *Pulsed Electric Field* (PEF) adalah salah satu metode perlakuan non thermal untuk pengawetan makanan, karena PEF berpotensi dalam menginaktivasi mikroba tanpa mengubah cita rasa dan kekayaan nutrisi pada makanan. Proses *Pulsed electric field* intensitas tinggi didasarkan pada aplikasi denyut pendek tegangan tinggi (20-80 kV/cm) dengan waktu yang sangat singkat (kurang lebih 1 detik) pada makanan cair yang ditempatkan diantara dua elektroda (Barbosa-Cánovas *et al.,* 1999 dalam Cueva, 2003). Teknologi PEF lebih dipertimbangkan daripada perlakuan panas terhadap makanan, karena PEF dapat membunuh mikroba lebih banyak, menghindari atau mengurangi kerusakan citarasa, sifat fisik makanan dan kerusakan organoleptic (Quass, 1997 dalam Cueva, 2003 dan Andrea-Manuela, 2007).

Inaktivasi mikroba yang dilakukan dengan PEF berhubungan dengan ketidakstabilan membran sel secara elektro-mekanik. Membran sel melindungi mikroba dari kondisi lingkungan sekitar dengan cara bekerja sebagai dinding semipermeable, contohnya membran tersebut mengatur masuknya nutrisi kedalam sel dan mengatur keluarnya produk akhir dari aktivitas metabolisme sel (Sale and Hamilton, 1968 dalam Jeyamkondan *et al*, 2008). Jika membran sel mengalami pemecahan, maka terjadi pengeluaran cairan dari dalam sel dan kehilangan aktivitas metabolisme sel. Ada dua teori yang menjelaskan tentang proses pemecahan membrane sel

akibat pengaruh dari PEF bertegangan tinggi yaitu "dielectric rupture" dan "electroporation" (Jeyamkondan *et al*, 2008).

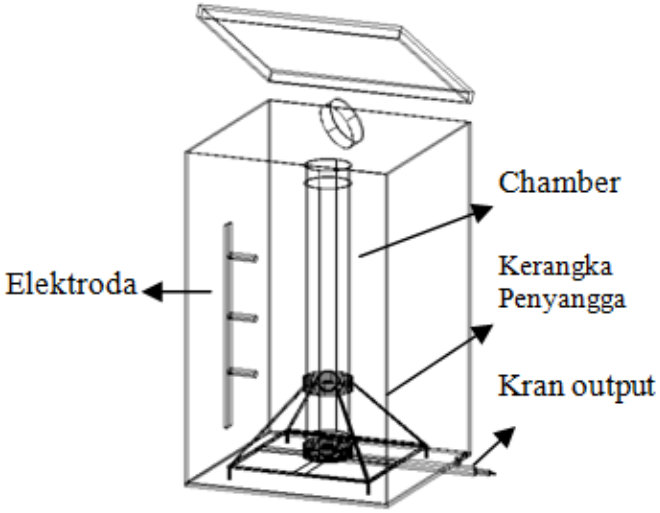
METODE PENELITIAN

Bahan dan Alat

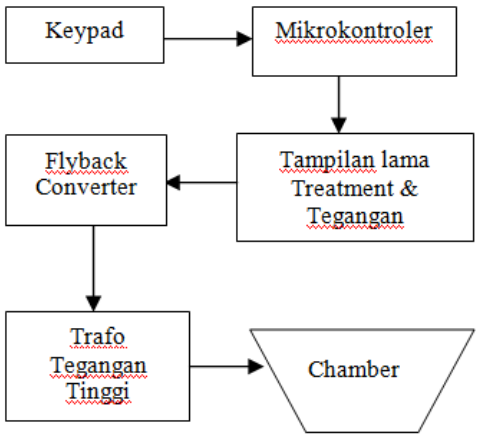
Alat yang digunakan dalam proses pasteurisasi adalah Botol 1 liter dan 100 ml sebagai wadah pengujian, cool box dan ice box untuk menampung susu dari KUD, gelas ukur untuk mengukur volume susu dantermometer untuk mengukur suhu serta kapas, corong, tisu, lap dan sarung tangan. Bahan yang digunakan adalah susu segar yang diambil dari koperasi susu DAU, aluminium foil, alkohol 95% dan aquades.

Rancangan Alat Pasteurisasi

Rancangan alat pasteurisasi susu terdiri dari empat komponen utama, yaitu : (1) Pembangkit Tegangan Tinggi (*High Voltage Generator),* (2) Ruang Perlakuan (*Treatment Chamber),* (3) Isolator dan (4) Kerangka Penyangga *Chamber.*

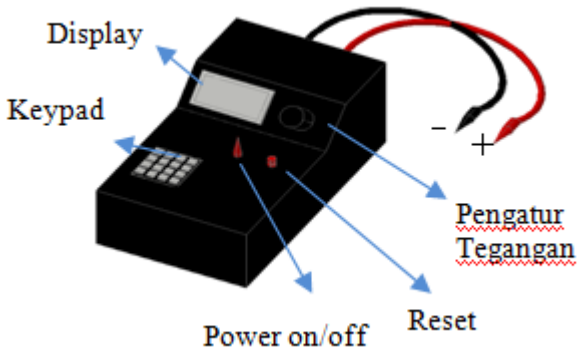


Gambar 1. Ruang Perlakuan PEF



Gambar 2. Blok Diagram Alat

Pembangkit pulsa tegangan tinggi yang digunakan terdiri dari beberapa blok yaitu blok keypad, mikrokontroller, tampilan (display), rangkaian *flyback converter*, trafo tegangan tinggi dan tempat perlakuan (chamber). Keypad berfungsi untuk memasukkan setting tegangan tinggi dan waktu yang dibutuhkan selama treatment. Mikrokontroller berfungsi untuk menampilkan tegangan tinggi dan waktu treatment yang disetting melalui keypad. Mikrokontroller akan mengatur lama treatment berdasarkan masukan yang berasal dari keypad. Keluaran mikrokontolller akan menggerakkan rangkaian *flyback converter*. Rangkaian *flyback converter* akan menerima keluaran mikrokontroller 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 hingga 100 kV. Semua komponen PEF disatukan dalam box pembangkit tegangan tinggi berukuran 25 cm x 15 cm x 10 cm yang terbuat dari mika



Gambar 3. Kotak Rangkaian PEF

Ruang Perlakuan *(Treatment Chamber)*

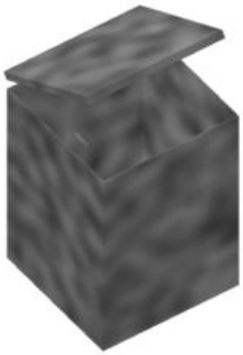
Ruang perlakuan merupakan tempat berlangsungnya proses pasteurisasi menggunakan kejut listrik tegangan tinggi. Ruang perlakuan terbuat dari bahan stainless steel berbentuk tabung yang disanggah dengan kerangka penyanggah tabung. Bahan dipilih dari stainless steel karena merupakan salah satu konduktor yang baik dan tidak mudah berkarat. Ruang perlakuan dibuat statis atau *batch* dengan diameter 7 cm, tinggi 45 cm dan tebal 3 mm. Pada bagian atas tabung berfungsi sebagai penutup dan tempat masuknya bahan susu serta bagian bawah terdapat kran pengeluaran dengan diameter 1.25 cm yang berfungsi untuk keluaran produk dari ruang perlakuan. *Treatment chamber* mampu menampung susu segar hingga 1.7 liter. Sebelum perlakuan, treatment chamber disterilkan terlebih dahulu dari kuman dan kotoran-kotoran yang menempel pada alat.

Gambar 4. Ruang Perlakuan

Isolator

Isolator terbuat dari mika acrylic yang berfungsi selain melindungi operator dari tegangan tinggi, juga berfungsi sebagai tempat elektroda untuk menghantarkan listrik tegangan tinggi. Hal ini perlu dilakukan, karena dalam pengoperasian pasteurisasi dengan PEF akan menimbulkan suara yang ”tinggi” dan kilatan cahaya yang menyilaukan. Isolator mika ini ditempatkan pada bagian luar rangkaian alat *pulsed electric field*.

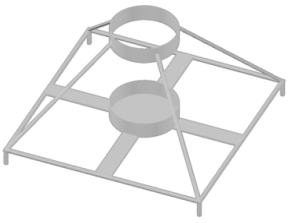
Isolator terbuat dari mika dengan ketebalan alas sebesar 5 mm dan tebal keliling sebesar 4 mm. Bagian alas dibuat lebih tebal agar mampu menahan beban *treatment chamber* beserta isinya. Isolator memiliki bentuk menyerupai kubus dengan panjang dan lebar sebesar 35 cm dan ketinggian 55 cm. Bagian atas kubus diberi penutup agar proses perlakuan murni terjadi didalam isolator dan tidak ada pengaruh dari luar. Pada salah satu sisi isolator terdapat 3 buah elektroda yang menghantarkan tegangan listrik tinggi dari rangkaian, jarak antara isolator dan ruang perlakuan sekitar 5 cm untuk menghindari terjadinya short atau korsleting pada rangkaian jika elektroda ini didekatkan. Dan jika elektroda ini semakin jauh dari ruang perlakuan maka penghantaran listrik tidak akan maksimal. Warna isolator dipilih yang bening dengan tujuan agar proses pengamatan dan dokumentasi tidak terhalang.



Gambar 5. Isolator

Kerangka Penyangga

Kerangka penyangga yang terbuat dari besi berfungsi untuk menyangga ruang perlakuan yang diletakkan didalam isolator. Kerangka penyangga ini terbuat dari besi yang terdiri dari 4 buah penyangga pada tiap-tiap sudutnya.



Gambar 6. Kerangka Penyangga

Rancangan Penelitian

Penelitian ini menggunakan bahan susu segar yang diambil dari KUD DAU dengan volume susu tiap pengujian sebanyak 1 liter dengan 13 perlakuan, satu perlakuan sebagai kontrol dan 4 perlakuan variasi tegangan dengan 3 kali ulangan.

Pengujian yang dilakukan menggunakan variasi tegangan (V) dan waktu (t) yang sama. Penelitian ini memakai tegangan 20 kV (V_1), 40 kV (V_2), 60 kV (V_3) dan 80 kV dengan 3 kali pengulangan. Waktu yang digunakan adalah 90 detik untuk masing-masing tegangan

Pengujian dengan beberapa variasi ini bertujuan untuk menghitung penurunan jumlah bakteri *Staphylococcus aureus* pada susu segar dengan metode *Pulsed Electric Fields* (PEF).

Penurunan jumlah bakteri *Staphylococcus aureus* akan digunakan untuk menghitung nilai efektifitas pembunuhan mikroba dengan persamaan:

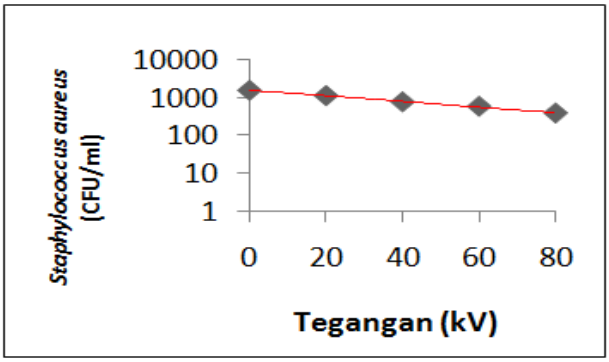
$$Efektifitas\ pembunuhan\ \frac{No - N}{No}\ x\ 100\%$$

Selain itu, dilakukan pula analisa sifat fisik dan kimia serta kandungan gizi yang terdapat pada susu sebelum dan sesudah perlakuan. Analisa sifat fisik meliputi kadar air, titik didih, titik beku, berat jenis dan viskositas, analisa kimia seperti pH sedangkan analisa gizi meliputi protein dan vitamin C. Penganalisaan sifat fisik, kimia dan gizi bertujuan untuk mengetahui perubahan yang terjadi pada susu setelah proses pasteurisasi.

Hasil dan Pembahasan

Jumlah Mikroba *Staphylococcus aureus*

Perlakuan kejut medanlistri (PEF) dapat menurunkan jumlah mikroba *Staphylococcus aureus. Jumlah mikroba* awal atau sebelum pasteurisasi sebanyak $1{,}6.10^3$ CFU/ml. Setelah proses pasteurisasi dengan kejut listrik bertegangan 20 - 80 kV dan waktu sebanyak 90 detik, jumlah penurunan mikroba terendah sebanyak $1{,}157.10^3$ pada tegangan 20 kV dan jumlah penurunan mikroba tertinggi sebanyak $3{,}97.10^2$ CFU/ml pada tegangan 80 kV.



Gambar 7. Grafik Penurunan Mikroba Menggunakan PEF

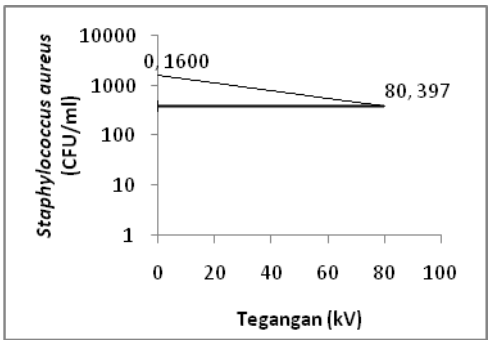
Penurunan jumlah mikroba terhadap variasi tegangan dengan kejut listrik, dapat diketahui semakin besar tegangan listrik yang diberikan semakin besar pula penurunan jumlah mikroba *Staphylococcus aureus.* Tegangan listrik adalah salah satu faktor utama yang mempengaruhi dalam menonaktifkan mikroba. Penonaktifan mikroba dapat meningkat dengan peningkatan tegangan listrik (Dunn *et al*., 1987; Zhang *et al*., 1995; Pothakamury *et al*., 1995a; Qin *et al*., 1998 dalam Bendicho, 2003).

Kematian mikroba akibat kejutan listrik tegangan tinggi diduga dipengaruhi oleh kerusakan struktur sel, seperti rusaknya membran sitoplasma sel. Meskipun secara alamiah membran sitoplasma mampu disintesa kembali tetapi dengan tegangan tinggi, kerusakan berbentuk lubang pada membran luar dari sel tidak mampu diperbaiki lagi, sehingga memungkinkan terjadinya mobilisasi senyawa makromolekul dari sel yang menyebabkan kematian (Alberts *et al*. 1994).

Potential Decimal Reduction Time (D)

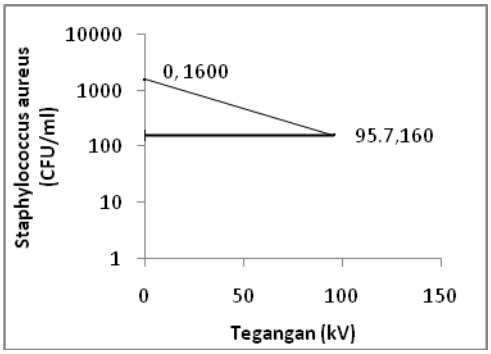
Potential Decimal Reduction Time (D) adalah waktu dalam satuan detik pada tegangan tertentu yang dibutuhkan untuk menurunkan/ membunuh 90% dari jumlah populasi mikroba yang ada. Jadi nilai D menunjukkan berkurangnya jumlah populasi mikroba yang masih hidup sebanyak 1 log cycle. menggunakan teknologi kejut tegangan tinggi (*Pulse Electric Field*/PEF).

Jumlah mikroba *Staphylococcus aureus* awal atau sebelum pasteurisasi sebesar 1600 CFU/ml, setelah proses pasteurisasi dengan tegangan tertinggi 80 kV dengan waktu perlakuan selama 90 detik menyisakan jumlah mikroba yang belum mati sebanyak 397 CFU/ml. Jadi jumlah mikroba yang mati adalah sebanyak 1203 CFU/ml atau sama dengan 75,2% dari populasi mikroba awal. Efektifitas penurunan ini belum mencapai 1 siklus logaritma atau penurunan sebesar 90% yang diharuskan dalam penentuan nilai D, sehingga pada penelitian ini tidak menghitung nilai D.



Gambar 9. Grafik Penurunan Mikroba pada Tegangan 80 kV

Jumlah mikroba awal sebesar 1,6. 10^3 CFU/ ml yang ditunjukkan oleh titik (0, 1600) dan penurunan jumlah mikroba pada tegangan 80 kV sebesar $3{,}97.10^2$ CFU/ml yang ditunjukkan oleh titik (80, 397) hanya menurunkan mikroba *Staphylococcus aureus* sebesar 0,61 log cycle dikarenakan kurangnya tegangan dan waktu yang diberikan, sehingga tidak tercapai penurunan hingga 90% atau 1 log cycle. Sedangkan untuk mencapai penurunan sebesar 1 log cycle ditunjukkan pada Gambar 10.



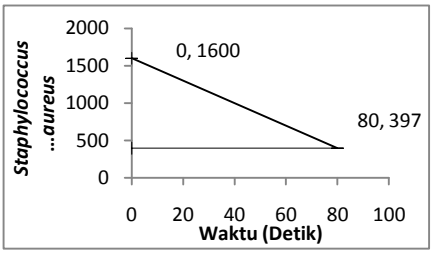
Gambar 10. Grafik Penurunan Mikroba pada Tegangan 95,7 kV

Grafik diatas memberikan gambaran jika jumlah mikroba awal pada tegangan 0 kV sebesar $1{,}6.10^3$ CFU/ml dan pada tegangan 80 kV sebesar $3{,}97.10^2$ CFU/ml, maka untuk menurunkan mikroba hingga $1{,}6.10^2$ CFU/ml atau 1 log cycle dicapai pada tegangan 95,7 kV. Hasil ini diperoleh menggunakan metode ekstrapolasi. Jadi mikroba yang mati adalah sejumlah 1440 CFU/ml atau sama dengan 90% dari populasi awal dengan sisa mikroba sejumlah 160 CFU/ml. Nilai D mikroba menunjukkan daya tahan dari mikroba terhadap PEF pada tegangan tertentu, yang berarti semakin tinggi nilai D, semakin tinggi daya tahan tergadap kejut listrik.

Laju Kematian Mikroba (*Lethal Rates*)

Lethal rates adalah laju kematian mikroorganisme tiap satuan waktu akibat kejutan listrik tegangan tinggi pada susu segar. Laju kematian mikroba dapat digambarkan dalam

sebuah grafik yang nilainya sama dengan nilai kemiringan (*slope*) dari grafik tersebut. Lethal rates didapatkan pada perlakuan dengan penurunan jumlah mikroba terbanyak pada tegangan 80 kV dan waktu 90 detik dengan jumlah N sebesar $3{,}97.10^2$ CFU/ml dan nilai N_0 adalah $1{,}6.10^3$ CFU/ml.



Gambar 11. Grafik Lethal Rates pada Tegangan 80 kV

Grafik diatas dapat dilihat bahwa pada waktu 90 detik, jumlah mikroba *Staphylococcus aureus* turun menjadi $3{,}97.10^2$ CFU/ml. Kemiringan grafik atau gradien merupakan laju kematian mikroorganisme (lethal rates) yang dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$Slope = \frac{\Delta y}{\Delta x} = \frac{1600 - 397}{90 - 0}$$

= 13,4 (CFU/ml)/detik

Perhitungan diatas menyimpulkan bahwa dengan kejutan listrik 80 kV dapat menginaktivasi mikroba *Staphylococcus aureus* mencapai 13,4 CFU/ml. Persamaan grafiknya mengikuti model persamaan linier sebagai berikut:

$y - y_1 = m\ (x - x_1)$

grafik melalui titik (0, 1600) yang merupakan nilai N_0 sebagai kontrol didapatkan

$y - 1600 = -\ 13{,}4\ (x - 0)$ $\quad$ $y = 1600 - 13{,}4x$

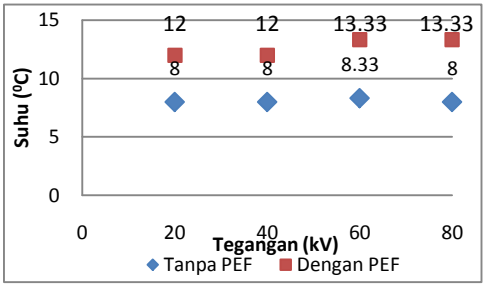
m adalah gradient yang merupakan lethal rates, nilainya negatif karena grafik mengalami penurunan.

Tegangan tertinggi pada 80 kV selama 90 detik, nilai *lethal rates* mencapai 13,4 (CFU/ml)/detik dapat dilihat pada Gambar 11 Sehingga memberikan gambaran bahwa besarnya tegangan yang diberikan dapat mempengaruhi nilai *lethal rates*.

Pengaruh PEF Terhadap Suhu, Sifat Fisik, Sifat Kimia dan Gizi

Suhu Susu

Suhu awal susu atau sebelum proses pasteurisasi memiliki nilai sebesar 8°C. Suhu tertinggi setelah pasteurisasi terjadi pada tegangan 60 dan 80 kV sebesar 13,33 °C dan suhu terendah setelah pasteurisasi terjadi pada tegangan 20 dan 40 kV sebesar 12 °C dengan waktu 90 detik pada semua perlakuan.



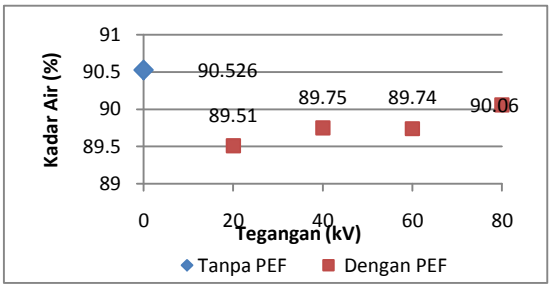
Gambar 12. Grafik Pengukuran Suhu Susu

Perubahan suhu yang terjadi setelah perlakuan pada tegangan yang berbeda berkisar antara 3-5^{0}C. Peningkatan suhu ini dapat dikatakan masih dalam kisaran normal. Menurut Shunming (2004) dan Grandreau *et al* (2002) pada sistem PEF, kenaikan temperatur proses

secara umum maksimum 5^0C. Sehingga metode ini sangat baik diaplikasikan untuk bahan makanan yang sensitif terhadap temperatur tinggi. Selain itu menurut Julian *et al* (2005) dengan menggunakan teknologi PEF dapat meningkatkan suhu antara 3 dan 18^0C, dan Galvagno (2007) menyatakan bahwa PEF berpotensi mengubah metode pasteurisasi panas dengan hanya meningkatkan sedikit suhu dan meminimalisasi perubahan organoleptic dalam makanan.

Kadar Air Susu

Kadar air awal atau sebelum proses pasteurisasi sebesar 90,526%. Setelah proses pasteurisasi dengan variasi tegangan dan waktu 90 detik, diperoleh nilai kadar air tertinggi pada tegangan 80 kV sebesar 90,06% dan kadar air terendah pada tegangan 20 kV sebesar 89,51%.



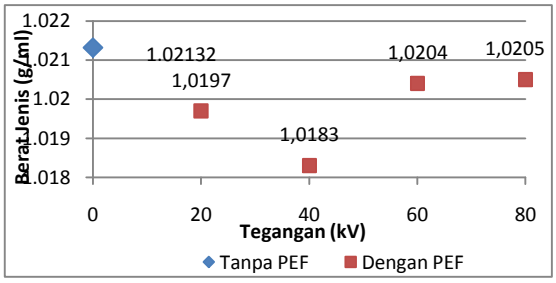
Gambar 13. Grafik Pengukuran Kadar Air Susu

Hasil pengukuran kadar air susu sebelum proses pasteurisasi sebesar 90,526% turun dengan nilai kisaran antara 89,51 sampai dengan 90,06% setelah proses pasteurisasi. Turunnya nilai kadar air disebabkan meningkatnya viskositas susu yang dipengaruhi peningkatan nilai kadar protein dan lemak serta suhu susu yang rendah setelah proses pasteurisasi menggunakan PEF (Array, 2008 dan Adnan, 1984).

Penurunan nilai kadar air tersebut masih dalam kisaran yang dapat diperkenankan, karena tidak mengalami perubahan yang signifikan. Sehingga perlakuan pasteurisasi *nonthermal* dengan perlakuan kejut listrik tidak menyebabkan perubahan kadar air yang nyata dari kadar air susu hasil pasteurisasi. Menurut Quass (1997) dalam Cueva (2003) menyatakan bahwa teknologi PEF dapat membunuh mikroba lebih banyak, menghindari atau mengurangi kerusakan citarasa dan sifat fisik makanan dan menonaktifkan beberapa enzim. Menurut Qingke *et al* (2003) dan Fang *et al* (2006), perlakuan kejutan listrik intensitas tinggi akan menginaktifkan mikroorganisme tanpa menimbulkan pengaruh yang merugikan terhadap aroma, rasa dan nutrisi yang biasanya timbul ketika menggunakan pasteurisasi atau sterilisasi termal.

Berat Jenis Susu

Berat jenis susu awal atau sebelum proses pasteurisasi sebesar 1,02132 g/ml. Setelah proses pasteurisasi dengan variasi tegangan dan waktu 90 detik diperoleh nilai berat jenis tertinggi pada tegangan 80 kV sebesar 1,0205 g/ml dan berat jenis terendah pada tegangan 40 kV sebesar 1,0183 g/ml.



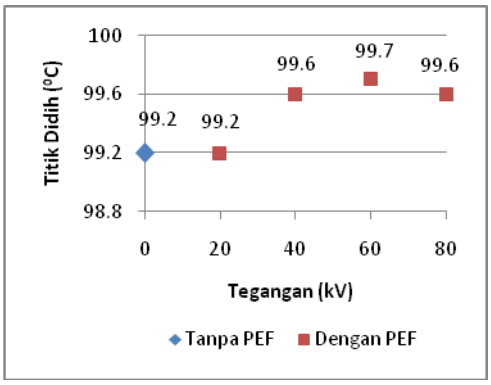
Gambar 14. Grafik Pengukuran Berat Jenis Susu

Hasil pengukuran berat jenis susu sebelum proses pasteurisasi sebesar 1,02132 g/ml turun dengan nilai kisaran antara 1,0183 sampai dengan 1,0205 g/ml. Turunnya nilai berat jenis susu disebabkan perubahan kondisi lemak serta adanya gas yang timbul didalam air susu setelah proses pasteurisasi menggunakan PEF (Mahlufi, 2004).

Penurunan nilai berat jenis tersebut masih dalam kisaran yang dapat diperkenankan, karena tidak mengalami perubahan yang signifikan. Sehingga perlakuan pasteurisasi *nonthermal* dengan perlakuan kejut listrik tidak menyebabkan perubahan berat jenis yang nyata dari berat jenis susu hasil pasteurisasi. Menurut Qingke *et al* (2003) dan Fang *et al* (2006) menyatakan bahwa perlakuan kejutan listrik intensitas tinggi akan menginaktifkan mikroorganisme tanpa menimbulkan pengaruh yang merugikan terhadap aroma, rasa dan nutrisi yang biasanya timbul ketika menggunakan pasteurisasi atau sterilisasi termal. Menurut Quass (1997) dalam Cueva (2003), teknologi PEF dapat membunuh mikroba lebih banyak, menghindari atau mengurangi kerusakan citarasa dan sifat fisik makanan dan menonaktifkan beberapa enzim.

Titik Didih Susu

Titik didih susu awal atau sebelum proses pasteurisasi sebesar 99,2 °C. Setelah proses pasteurisasi dengan variasi tegangan dan waktu 90 detik diperoleh nilai titik didih tertinggi pada tegangan 60 kV sebesar 99,7°C dan titik didih terendah pada tegangan 20 kV sebesar 99,2 °C.



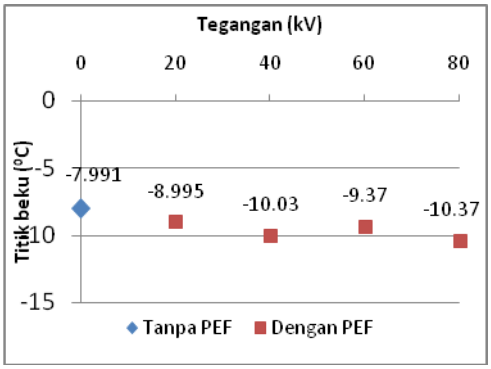
Gambar 15. Grafik Pengukuran Titik Didih Susu

Nilai hasil pengukuran titik didih susu setelah proses pasteurisasi berkisar antara 99,2 sampai dengan 99,7°C. Nilai titik didih susu sedikit lebih tinggi dari nilai titik didih air, karena susu memiliki kandungan bahan-bahan terlarut (Array, 2008). Nilai titik didih tersebut masih dalam kisaran yang dapat diperkenankan, karena tidak mengalami perubahan yang signifikan. Sehingga perlakuan pasteurisasi *nonthermal* dengan perlakuan kejut listrik tidak menyebabkan perubahan titik didih yang nyata dari titik didih susu hasil pasteurisasi.

Menurut Quass (1997) dalam Andrea-Manuela (2007) menyatakan bahwa teknologi PEF sangat dipertimbangkan daripada perlakuan panas pada makanan, karena dapat menghindari kerusakan organoleptic dan kandungan fisik dalam makanan. Menurut Qingke *et al* (2003) dan Fang *et al* (2006), perlakuan kejutan listrik intensitas tinggi akan menginaktifkan mikroorganisme tanpa menimbulkan pengaruh yang merugikan terhadap aroma, rasa dan nutrisi yang biasanya timbul ketika menggunakan pasteurisasi atau sterilisasi termal.

Titik Beku Susu

Titik beku susu awal atau sebelum proses pasteurisasi memiliki nilai sebesar -7,991 °C. Setelah proses pasteurisasi dengan variasi tegangan dan waktu 90 detik diperoleh nilai titik beku tertinggi pada tegangan 80 kV sebesar -10,37 °C dan titik beku terendah pada tegangan 20 kV sebesar -8,995°C.



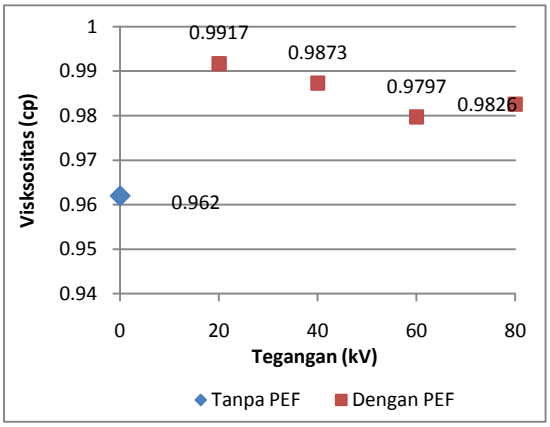
Gambar 16. Grafik Pengukuran Titik Beku Susu

Nilai hasil pengukuran titik beku susu sebelum proses pasteurisasi sebesar -7,991 °C turun dengan nilai kisaran antara -8,995 sampai dengan –10,37 °C setelah proses pasteurisasi. Titik beku susu lebih rendah dari titik beku air karena dipengaruhi oleh komponen-komponen yang terlarut, terutama laktosa dan klorida.. Titik beku ditentukan oleh molekul-molekul kecil dan ion-ion dalam larutan, zat-zat lain yang molekulnya besar seperti protein tidak mempunyai pengaruh terhadap penurunan titik beku (Adnan, 1984).

Penurunan nilai titik beku tersebut masih dalam kisaran yang dapat diperkenankan, karena tidak mengalami perubahan yang signifikan. Sehingga perlakuan pasteurisasi *nonthermal* dengan perlakuan kejut listrik tidak menyebabkan perubahan titik beku yang nyata dari titik beku susu hasil pasteurisasi. Menurut Sampedro *et al* (2005) menyatakan bahwa perlakuan nonthermal PEF intensitas tinggi akan menginaktifkan mikroorganisme dengan perubahan minimal terhadap kualitas dan nutrisi. Menurut Quass (1997) dalam Cueva (2003) bahwa teknologi PEF dapat membunuh mikroba lebih banyak, menghindari atau mengurangi kerusakan citarasa dan sifat fisik makanan dan menonaktifkan beberapa enzim.

Viskositas Susu

Viskositas susu awal atau sebelum proses pasteurisasi memiliki nilai sebesar 0,962 cp. Setelah proses pasteurisasi dengan variasi tegangan dan waktu 90 detik diperoleh nilai viskositas tertinggi pada tegangan 20 kV sebesar 0,9917 cp dan viskositas terendah pada tegangan 60 kV sebesar 0,9797 cp.



Gambar 17. Grafik Pengukuran Viskositas Susu

Nilai hasil pengukuran viskositas susu sebelum proses pasteurisasi sebesar 0,962 cp naik dengan nilai kisaran antara 0,9797 sampai dengan 0,9917 cp. Kenaikan viskositas susu dapat menyebabkan turunnya nilai kadar air setelah proses pasteurisasi, selain itu menurut (Adnan, 1984) salah satu faktor yang mempengaruhi viskositas susu ialah konsentrasi dan keadaan

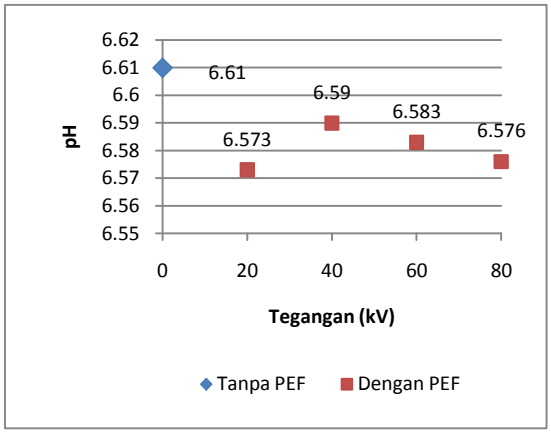
protein, yang mana kenaikan kadar protein dapat menaikkan nilai viskositas air susu setelah proses pasteurisasi menggunakan PEF.

Suhu rendah akan menyebabkan kenaikan viskositas susu karena terjadi *clumping* dari globula-globula lemak. Viskositas susu juga akan meningkat dengan meningkatnya kandungan lemak dalam susu (Array, 2008).

Kenaikan nilai viskositas tersebut masih dalam kisaran yang dapat diperkenankan, karena tidak mengalami perubahan yang signifikan. Sehingga perlakuan pasteurisasi *nonthermal* dengan perlakuan kejut listrik tidak menyebabkan perubahan viskositas yang nyata dari viskositas susu hasil pasteurisasi. Menurut Quass (1997) dalam Cueva (2003) menyatakan bahwa teknologi PEF dapat membunuh mikroba lebih banyak, menghindari atau mengurangi kerusakan citarasa dan sifat fisik makanan dan menonaktifkan beberapa enzim. Menurut Qingke *et al* (2003) dan Fang *et al* (2006), perlakuan kejutan listrik intensitas tinggi akan menginaktifkan mikroorganisme tanpa menimbulkan pengaruh yang merugikan terhadap aroma, rasa dan nutrisi yang biasanya timbul ketika menggunakan pasteurisasi atau sterilisasi termal.

pH Susu

PH susu awal atau sebelum proses pasteurisasi memiliki nilai sebesar 6,61. Setelah proses pasteurisasi dengan variasi tegangan dan waktu 90 detik diperoleh nilai pH tertinggi pada tegangan 40 kV sebesar 6,59 dan pH terendah pada tegangan 20 kV sebesar 6,573.



Gambar 18. Grafik Pengukuran pH Susu

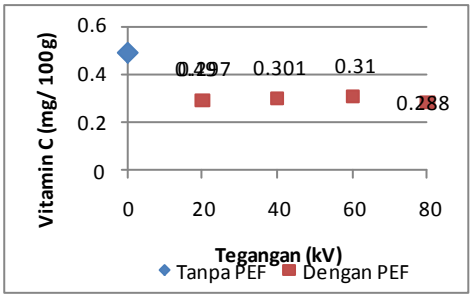
Nilai hasil pengukuran pH susu sebelum proses pasteurisasi sebesar 6,61 cp turun dengan nilai kisaran antara 6,573 sampai dengan 6,59. Penurunan pH diakibatkan oleh aktivitas bakteri (Adnan, 1984) yang tentu saja disebabkan karena aktivitas buffer fosfat, sitrat dan protein (pengasaman susu karena aktivitas bakteri menyebabkan mengendapnya kasein dalam protein setelah proses pasteurisasi menggunakan PEF (Buckle, 2007). Menurut Mahlufi (2004), keasaman susu atau pH dalam susu ini berkisar antara 6,59-6,62. Karena bila nilai pH air susu lebih tinggi dari 6,7 biasanya diartikan terkena mastitis dan bila pH dibawah 6,5 menunjukkan adanya kolostrum ataupun pembusukan oleh bakteri

Penurunan nilai pH pada penelitian tidak melebihi 6.5, dimana penurunan tersebut masih dalam kisaran yang dapat diperkenankan, karena tidak mengalami perubahan yang signifikan. Sehingga perlakuan pasteurisasi *nonthermal* dengan perlakuan kejut listrik tidak menyebabkan perubahan pH yang nyata dari pH susu hasil pasteurisasi.

Efek dari perlakuan PEF tidak mengubah kandungan pH dalam susu (Juliane *et al*. 2005). Menurut Qingke *et al* (2003) dan Fang *et al* (2006), perlakuan kejutan listrik intensitas tinggi akan menginaktifkan mikroorganisme tanpa menimbulkan pengaruh yang merugikan terhadap aroma, rasa dan nutrisi yang biasanya timbul ketika menggunakan pasteurisasi atau sterilisasi termal.

Vitamin C Susu

Vitamin C yang terkandung dalam susu sebelum proses pasteurisasi memiliki nilai sebesar 0,49 mg/100g. Setelah proses pasteurisasi dengan variasi tegangan dan waktu 90 detik diperoleh nilai vitamin C tertinggi pada tegangan 60 kV sebesar 0,31 mg/100g dan vitamin C terendah pada tegangan 80 kV sebesar 0,288 mg/100g.



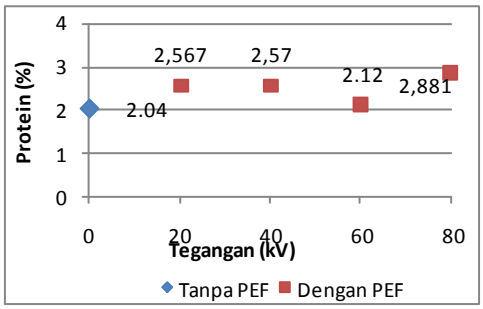
Gambar 19. Grafik Pengukuran Vitamin C

Nilai hasil pengukuran vitamin C susu sebelum proses pasteurisasi sebesar 0,49 mg/100g turun dengan nilai kisaran antara 0,288 sampai dengan 0,31 mg/100g setelah proses pasteurisasi. Penurunan nilai vitamin C pada susu setelah pasteurisasi disebabkan karena vitamin C merupakan vitamin yang paling mudah rusak. Nilai suhu yang naik sekitar 5ºC mempengaruhi penurunan kadar vitamin C. Begitupula nilai pH susu yang sedikit menurun dapat menyebabkan susu bersifat asam, sehingga penurunannya lebih sedikit. Menurut Winarno (2008), vitamin C sangat larut dalam air, mudah teroksidasi dan proses tersebut dipercepat oleh panas, sinar, alkali, enzim, oksidator serta oleh katalis tembaga dan besi. Oksidasi akan terhambat bila vitamin C dibiarkan dalam keadaan asam.

Penurunan nilai vitamin C tersebut masih dalam kisaran yang dapat diperkenankan, karena tidak mengalami perubahan yang signifikan. Sehingga perlakuan pasteurisasi *nonthermal* dengan perlakuan kejut listrik tidak menyebabkan perubahan vitamin C yang nyata dari vitamin C susu hasil pasteurisasi. Menurut Barbosa-Cánovas *et al.*, (1999) menyatakan bahwa *Pulsed Electric Field* (PEF) merupakan salah satu metode perlakuan *nonthermal* untuk pengawetan makanan, karena PEF berpotensi dalam menginaktivasi mikroorganisme tanpa mengubah cita rasa dan kekayaan nutrisi pada makanan. Menurut Calderon-Miranda *et al* (1999) dan Bendicho *et al* (1999) perlakuan PEF dapat menjaga kualitas makanan dan menyebabkan sedikit penurunan kandungan vitamin.

Kadar Protein Susu

Protein yang terkandung dalam susu sebelum proses pasteurisasi memiliki nilai sebesar 2,04%. Setelah proses pasteurisasi dengan variasi tegangan dan waktu 90 detik diperoleh nilai protein tertinggi pada tegangan 80 kV pada sebesar 2,881% dan protein terendah pada tegangan 60 kV sebesar 2,12%.



Gambar 20. Grafik Pengukuran Kadar Protein Susu

Nilai hasil pengukuran kadar protein susu sebelum proses pasteurisasi sebesar 2,04% naik dengan nilai kisaran antara 2,12 sampai dengan 2,881%. Protein sebagian besar mengandung kasein yang tidak saja mengandung zat-zat organik melainkan mengandung juga zat-zat anorganik seperti kalsium dan fosfor. Kenaikan kadar protein disebabkan oleh naiknya nilai viskositas air susu (Adnan, 1984). Kenaikan nilai protein tersebut masih dalam kisaran yang dapat diperkenankan, karena tidak mengalami perubahan yang signifikan. Sehingga perlakuan pasteurisasi *nonthermal* dengan perlakuan kejut listrik tidak menyebabkan perubahan kadar protein yang nyata dari kadar protein susu hasil pasteurisasi. Menurut Martin *et al* (1997) dalam Sobrino-Lopez (2006) menyatakan bahwa protein yang terkandung dalam susu terlindung dari kerusakan akibat perlakuan PEF. Sedangkan menurut Barbosa-Cánovas *et al.* (1999) bahwa *Pulsed Electric Field* (PEF) merupakan salah satu metode perlakuan *nonthermal* untuk pengawetan makanan, karena PEF berpotensi dalam menginaktivasi mikroorganisme tanpa mengubah cita rasa dan kekayaan nutrisi pada makanan.

Kesimpulan

Pasteurisasi susu dengan variasi tegangan dan waktu 90 detik dapat menurunkan jumlah mikroba *Staphylococcus aureus*. Jumlah mikroba awal sebesar $1{,}6.10^3$ CFU/ml. Jumlah penurunan mikroba terendah terjadi pada tegangan 20 kV mencapai 27,7% sebesar $1{,}157.10^3$ CFU/ml dan tertinggi pada tegangan 80 kV mencapai 75,2% sebesar $3{,}97.10^2$ CFU/ml. Pasteurisasi susu dengan sistem *Pulse Electric Field* 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 $^{\circ}$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 6,573- 6,59. Teknologi *Pulse Electric Field* dengan metode nonthermal juga tidak mempengaruhi kandungan gizi dalam susu meliputi: Vitamin C yang berkisar 0,288 - 0,31 mg/100g dan protein yang berkisar 2,12 - 2,881%.

DAFTAR PUSTAKA

Adnan, Mochamad. 1984. *Kimia dan Teknologi Pengolahan Air Susu*. Andi Offset. Yogyakarta

Albert, B. D. Bray, J. Lewis, J. Raff, M. Robert, and James. 1994. Biologi Molekuler Sel**.** PT Gramedia Pustaka Utama**.** Jakarta

Andreea-Manuela C., C. Csatlós, C. Bica. 2007. *Pulsed Electric Field Processing of Liquid Foods. Simulation of the electric field distribution between electrodes***.** University of Transilvania, Brasov Romania

Barbosa-Cánovas, G. V., U. R Pothakamury, E. Palou, B.G. Swanson. 1999. *Preservation of Foods with Pulsed Electric Fields*.Academic Press. San Diego

Bendicho, S., A. Espachs, D. Stevens, J. Ara´ntegui, and O Martı´n. 1999. *Effect Of High Intensity Pulsed Electric Fields On Vitamins Of Milk*. Page 108 in European Conference of Emerging Food Science and Technology, Tampere, Finland

_____G. V Barbosa-Canovas., O. Martin. 2003. *Reduction of Protease Activity in Milk by Continuous Flow High-Intensity Pulsed Electric Field Treatments***.** Department of Biological Systems Engineering. Washington

Buckle, K. A., R.A. Edwards, G. H. Fleet, M. Wootton. 2007. *Ilmu Pangan*. UI Press. Jakarta

Caldero´n-Miranda, M. L., G.V. Barbosa-Ca´novas, and B. G. Swanson.1999. *Inactivation of Listeria Innocuain Skim Milk by Pulsed Electric Fields and Nisin.* Int. J. Food Microbiol. 51:19–30

Cueva, Olga A. 2003. *Pulsed Electric Field Influences on Acid Tolerance, Bile Tolerance, Protease Activity and Growth Characteristics of Lactobacillus Acidophilus La-K.* Escuela Agrícola Panamericana Zamorano. Honduras

Fang, J., Z.Piao, X. Zhang. 2006. *Study on High-voltage Pulsed Electric Fields Sterilization Mechanism Experiment.* Shenyang Agricultural University, Shenyang, Liaoning 110161. China

Galvagno, M. A., G.R. Gil., L. J. Iannone., P. Cerrutti. 2007. *Exploring The Use Of Natural Antimicrobial Agent Sand Pulsed Electric Fields To Control Spoilage Bacteria During A Beer Production Process.* Laboratorio de Microbiología Industrial, Departamento de IngenieríaQuímica, Facultad de Ingeniería, Pabellónde Industrias; 2PRHIDEB-CONICET; Departamento de Biodiversidad y Biología Experimental, Facultad de CienciasExactas y Naturales, Pabellón II. Universidad de Buenos Aires, Ciudad Universitaria (1428) Buenos Aires, Argentina.

Grandreau M.P.J., T.Hankey, J.Petry. 2002. *Pulsed Power Systems for Food and Waster Water Processing*. Diversified Technologies, Inc. (1) 1-4.

Jeyamkondan, S., D.S.Jayas, and R.A. Holley 2008. *Pasteurization of foods by Pulsed Electric Fields at High Voltages.* Department of Biosystems Engineering and Department of FoodScience University of Manitoba Winnipeg. Canada

Juliane F. N. Grosset, N leconte, M. Pasco, M. Madec, R. Jeantet. 2005. *Continuous Raw Skim Milk Processing by Pulsed Electric Field at Non-lethal Temperature: Effect on Microbial Inactivation and Functional Properties.* UMR 1253, Science et Technologie du Lait et de l'OEuf, Inra-Agrocampus Rennes,65 rue de Saint-Brieuc, 35042 Rennes Cedex. France

Klonowski, I., V. Heinz, ,S. Toepfl, G. Gunnarsson, G. Þorkelsson. 2006. *Applications of Pulsed Electric Field Technology for The Food Industry.* Icelandic Fisheries Laboratories. Iceland

Mahlufi. 2004. *Dasar Pengolahan Susu dan Hasil Ternak. Fakultas Pertanian dan Peternakan.* UIN Suska. Riau.

Qingke, L., Z. Changli, F. Junlong. 2003. *Antiseptic Research of Liquid Food Under High Voltage Pulse*. The Agriculture Mechanization Research: 100-101

Rahmadi A. 2009. *Aplikasi Bakteri Asam Laktat untuk Meningkatkan Keamanan Mikrobiologist Terhadap Staphylococcus aureus pada Proses Olah Minimal Buah Apel Malang (Malussylvestris mill).* Fakultas Pertanian THP Universitas Mulawarman.

Saleh, E. 2004. *Teknologi Pengolahan Susu dan Hasil Ikutan Ternak.* Fakultas Pertanian Universitas Sumatera Utara. Medan

Sampedro, F., A. Rodrigo, A. Martı´nez, and D. Rodrigo. 2005. *Quality And Safety Aspects of PEF Application in Milk and Milk Products*. Crit. Rev. Food Sci. Nutr. 45:25–47

Shunming, T. 2004. *The New Technology of Food Sterilizes*. Light Industry Publishing House. Beijing: Chinese.

Sobrino-López, A., R, Raybaudi-Massilia, and O. Martín Belloso.2006. *High Intensity Pulsed Electric Field Variables Affecting Staphylococcus aureusInoculated in Milk.* Journal of Dairy Science 89: 3739-3748. Department of Food Technology, University of Lleida, 25198 Lleida. Spain

Titiek, F., Djafar, S. R. Endang, R. Siti. 2009. *Cemaran Mikroba Pada Susu dan Produk Unggas.* Balai Pengkajian Teknologi Pertanian Fakultas Teknologi Pertanian UGM. Yogyakarta

Winarno, F.G. 2008. *Kimia Pangan Dan Gizi*. M-brio Press Cetakan 1. Bogor