

APLIKASI METODE MEDAN LISTRIK TEGANGAN TINGGI (HIGH PULSED ELECTRIC FIELD) SEBAGAI CARA MEMPERTAHANKAN KUALITAS FISIK, KIMIA DAN MIKROBIOLOGIS SUSU SEGAR
(Application of High Pulsed Electric Field to Maintain in Physical, Chemical and Microbiology of Fresh Milk)

**Rarah Ratih Adjie Maheswari¹⁾, Sutrisno²⁾, Abu Bakar³⁾,
Budi Hariono²⁾, Ida Ayu Ratih Stefani²⁾**

¹⁾Dep. Ilmu Produksi dan Teknologi Peternakan, Fakultas Peternakan

²⁾Dep. Ilmu Keteknikan Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, ³⁾Balai Besar Pasca Panen, Departemen Pertanian Republik Indonesia

ABSTRAK

Aplikasi Medan Pulsa Listrik Tegangan Tinggi (HPEF) didasarkan pada dua teori utama, yaitu *electrical breakdown* dan teori elektroporasi membran sel akibat adanya medan listrik tegangan tinggi yang mengakibatkan inaktivasi sel. Inaktivasi mikroba susu utuh pada suhu kamar ($27 \pm 1^\circ\text{C}$) lebih baik dibandingkan inaktivasi pada suhu dingin ($4-8^\circ\text{C}$) untuk jarak elektrode 3 mm; 4 mm; 5 mm dengan chamber tipe *parallel plate* sistem *batch* berturut-turut adalah 26,16 % dan 11,34 %; 19,28 % dan 3,65 % dan 8,11 % dan 0,36 %. Inaktivasi bakteri patogen *E. coli*; *Staphylococcus aureus* dan *Salmonella* Typhimurium jika dibandingkan dengan jumlah mikroba pada suhu kamar dengan sumber pembangkitan *coil* 30 kV untuk jarak elektrode 3 mm berturut-turut adalah 1,085 log siklus; 0,53584 log siklus dan 0,908 log siklus. Koefisien (μ) laju inaktivasi bakteri patogen *E. coli*; *Staphylococcus aureus* dan *Salmonella* Typhimurium berturut-turut adalah 0,0194; 0,0112 dan 0,0063.

Penelitian pengujian kualitas susu metode HPEF memberikan hasil sebagai berikut : (1) BJ SNI, susu segar dan susu metode HPEF dengan waktu 30" dan 60" berturut-turut adalah 1,0280; 1,026; 1,0235; dan 1,0235 g/cm³ (2) kadar lemak SNI, susu segar dan susu metode HPEF 30" dan 60" berturut-turut adalah 2,8 %; 3,215 %; 2,925 %; dan 2,87 %, (3) SNF SNI, susu segar dan susu pasteurisasi 30" dan 60" berturut-turut adalah 7,7 %; 7,91 %; 7,28 %; dan 7,24 % (4) kandungan protein SNI, susu segar dan susu pasteurisasi 30" dan 60" berturut-turut adalah 2,5 %; 3,21 %; 2,99 % dan 2,97 %.

Kata kunci : Bakteri patogen, *high pulsed electric field*, pasteurisasi.

ABSTRACT

Applications of High Pulsed Electric Field (HPEF) is based on two main theories, namely the theory of electrical breakdown and electroporation membrane cell due to high pulsed electric field resulting in cell inactivation. Microbial inactivation whole milk at room temperature ($27 \pm 1^\circ\text{C}$) better than the inactivation at low temperature ($4-8^\circ\text{C}$) gap electrode: 3 mm; 4 mm, 5 mm with a parallel plate type systems batch chamber, respectively 26.16% and 11.34%; 19.28% and 3.65% and 8.11% and 0.36%. Inactivation bacterial pathogen of *E. coli*; *Staphylococcus aureus* and *Salmonella* Typhimurium when compared to the number of microbes at room temperature with the coil 30 kV with gap electrode 3 mm, respectively was 1.085 log cycles; 0.53584 log cycle and 0.908 log cycles. Coefficient (μ) rate inactivation bacterial pathogen of *E. coli*; *Staphylococcus aureus* and *Salmonella* Typhimurium, respectively 0.0194; 0.0112 and 0.0063.

Testing milk quality HPEF methods give results as follows: (1) BJ SNI, fresh milk and milk HPEF method with a 30 "and 60" respectively is 1.0280; 1.026; 1.0235, and 1.0235 g / cm³ (2) SNI fat, fresh milk and milk methods HPEF 30 "and 60" are respectively 2.8%; 3.215%; 2.925% and 2.87%, (3) SNF SNI, fresh milk and milk pasteurization 30 "and 60" respectively 7.7%; 7.91%; 7.28% and 7.24% (4) the protein content of SNI, fresh milk and milk pasteurization 30 "and 60" respectively was 2.5%; 3.21%; 2.99% and 2.97%

Keywords : Bacterial pathogen, *high pulsed electric field*, pasteurization

PENDAHULUAN

Susu segar mempunyai sifat tidak tahan lama bila disimpan pada suhu kamar, sehingga perlu dilakukan penanganan atau pengolahan. Proses pengolahan susu secara umum melibatkan perlakuan panas. Proses pemanasan pada susu sangat efektif dalam mempertahankan kualitas mikrobiologis susu dan membunuh mikroorganisme berbahaya di dalam susu. Kelemahan aplikasi pemanasan pada susu akan berakibat pada penurunan kandungan nutrisi susu, terutama komponen-komponen yang tidak tahan panas seperti protein dan vitamin.

Saat ini telah banyak dikembangkan teknologi pemanasan yang mampu meminimalisir kehilangan kandungan nutrisi pada susu dan tetap memberikan jaminan aman pada produk untuk dikonsumsi, seperti metode pasteurisasi dan UHT. Beberapa kelemahan metode tersebut adalah (1) menimbulkan efek yang kurang menguntungkan terhadap mutu bahan pangan, antara lain berupa penurunan kadar nutrisi, kualitas sensoris (bau, rasa, warna), (2) memerlukan daya listrik yang cukup besar untuk mengoperasikannya. Oleh karena itu dianggap perlu pengembangan teknologi penanganan susu yang lebih aman, hemat energi dan tetap efektif dalam mempertahankan kualitas fisik, kimia dan mikrobiologis susu. Zang et al. (1997) di Ohio State University mempelopori pengembangan suatu metode baru untuk mengatasi permasalahan tersebut, yaitu melalui teknologi pengawetan pangan tanpa melibatkan panas, berupa teknologi Medan Pulsa Listrik Tegangan Tinggi (*High Pulsed Electric Field*).

Teknologi Medan Pulsa Listrik Tegangan Tinggi didasarkan pada dua teori utama, yaitu *electrical breakdown* dan teori *elektroporasi* membran sel akibat

adanya medan pulsa listrik tegangan tinggi yang mengakibatkan inaktivasi sel mikroba. Sebagai dasar perancangan digunakan tetapan model kinetika inaktivasi mikroba yang telah dikembangkan oleh Peleg (1995) dan Hulshelger (1983). Prinsip kerja inaktivasi mikroba medan pulsa listrik tegangan tinggi adalah dengan mengalirkan tegangan listrik tegangan tinggi sekitar 20-80 kV/cm melalui dua elektroda yang diletakkan diantara bahan pangan. Bahan yang akan diinaktivasi mikrobanya diletakkan dalam medan listrik dengan intensitas tertentu yang dibangkitkan dari sebuah generator tegangan. Berbagai jenis pembangkit listrik dapat dipilih sesuai kebutuhannya seperti *Pearson coil* (Zang *et al.*, 1999).

Tujuan umum penelitian pada tahun pertama adalah mendapatkan produk susu yang Aman Sehat Utuh dan Halal (ASUH), dengan penerapan teknologi medan pulsa listrik tegangan tinggi dalam mempertahankan kualitas fisik, kimia dan mikrobiologi susu. Sedangkan tujuan khusus pada tahun I adalah : a) merancang prototipe alat pasteurisasi susu dengan teknologi medan pulsa listrik tegangan tinggi, b) mengkaji Faktor-faktor kritis alat, serta c) mengkaji efektifitas teknologi medan pulsa listrik tegangan tinggi dalam menghambat pertumbuhan mikroorganisme patogen.

METODE PENELITIAN

Alat dan Bahan

Alat yang digunakan pada penelitian susu sapi utuh adalah : unit HPEF dengan sumber pembangkitan tegangan tinggi flyback dengan spesifikasi V_{pp} (tegangan *peak to peak*) sebesar 1200 V dan tegangan efektif 832 V, multimeter Merk Sanwa DMM CD 771, Threatment chamber tipe *batch parallel plate* dari stainless steel ST 316, osiloscope merk ATTEN, probe tegangan tinggi tipe PD 28, peralatan sterilisasi, *cold storage*, *termocouple*, cawan petri, tabung reaksi, oven media PCA, Digital Colony Counter tipe DC-3.

Alat-alat yang akan digunakan pada penelitian inaktivasi mikroba pathogen adalah seperangkat alat HPEF dengan sumber pembangkitan coil dengan spesifikasi V_{pp} (tegangan *peak to peak*) sebesar 22 kV dan tegangan efektif 9,5 kV, osiloskop merk ATTENT, Vortex mixer, termocoupele, kaca objek,

mikroskop, inkubator, tabung reaksi, botol Schott, jarum Öse, labu erlenmeyer, pipet volumetrik, panci, penangas listrik, autoklaf, pemanas Bunsen dan cawan petri.

Pelaksanaan penelitian pada Tahun I terdiri atas tiga tahapan yaitu :

- a) Mendapatkan prototipe teknologi medan pulsa listrik tegangan tinggi yang memenuhi syarat fungsional dan struktural,
- b) Melakukan optimasi penggunaan suhu proses yang terdiri suhu ruang ruang ($27\pm 1^{\circ}\text{C}$) dan suhu dingin ($4-8^{\circ}\text{C}$)
- c). Melakukan inaktivasi mikroba pathogen pada *E. coli*; *Staphylococcus aureus* and *Salmonella Typhimurium*.

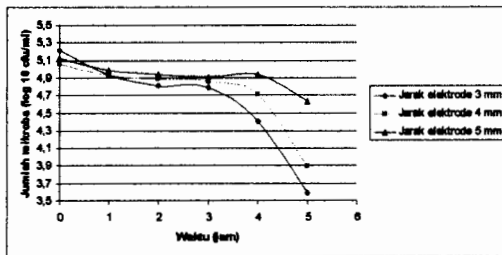
Paramater yang Diamati :

Adapun peubah yang diamati adalah: a) kualitas fisik yang meliputi uji berat jenis, b) kualitas kimia meliputi kadar protein, kadar lemak, total solid, solid non fat dan c) kualitas mikrobiologi meliputi total plate count, jumlah bakteri koliform, jumlah bakteri *E. coli* ATCC 25922, jumlah bakteri *Salmonella Typhimurium* ATCC 14028, jumlah bakteri *Staphylococcus aurues* ATCC 25923.

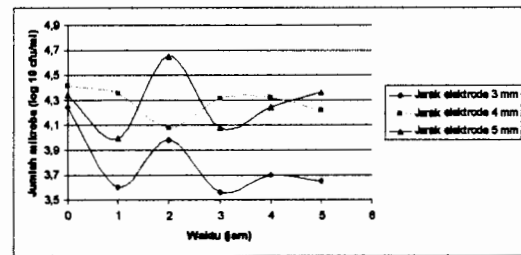
HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengaruh Jarak Elektrode Terhadap Suhu Proses

Pengaruh jarak elektrode dan suhu proses terhadap jumlah mikroba yang dapat diinaktivasi pada susu sapi utuh menggunakan sistem *bacth* dengan sumber pembangkit tegangan tinggi *fly back*. Fly back mempunyai tegangan *peak to peak* (Vpp) 1,36 kV, tegangan maksimal (Vmak) 0,83 kV dan kuat arus 14,6 mA. Hasil yang diperoleh untuk perlakuan pada suhu ruang tertera pada Gambar 1, sedangkan pada suhu dingin tertera pada Gambar 2.



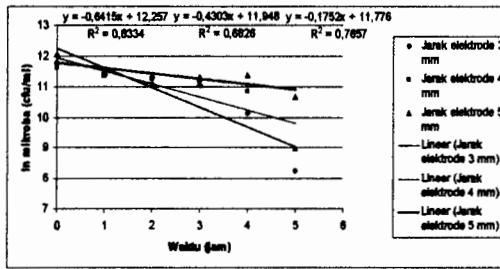
Gambar 1. Penurunan Total Mikroba dengan Jarak Electrode yang Berbeda pada Suhu Ruang ($27^{\circ}\pm 1^{\circ}\text{C}$)



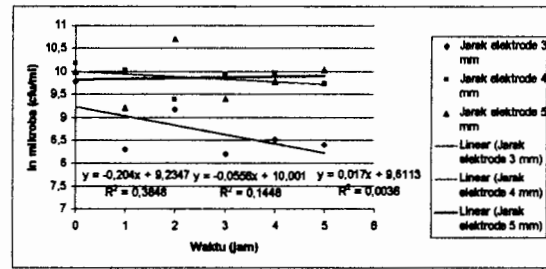
Gambar 2. Penurunan Total Mikroba dengan Jarak Electrode yang Berbeda pada Suhu Dingin ($4-8^{\circ}\text{C}$)

Penurunan mikroba pada suhu ruang ($27^{\circ}\pm 1^{\circ}\text{C}$) untuk jarak elektrode 3 mm, 4 mm dan 5 mm bila dibandingkan dengan jumlah mikroba pada susu segar berturut-turut adalah 1,62 log siklus; 1,17 log siklus dan 0,5 log siklus. Sedangkan penurunan mikroba pada suhu dingin ($4-8^{\circ}\text{C}$) untuk jarak elektrode 3 mm, 4 mm dan 5 mm bila dibandingkan dengan jumlah mikroba pada susu segar berturut-turut adalah 0,6 log siklus; 0,2 log siklus dan -0,02 log siklus (terjadi peningkatan).

Gambar 3 dan 4, diperoleh data koefisien (μ) laju inaktivasi mikroba untuk jarak 3 mm, 4 mm dan 5 mm pada suhu ruang ($27^{\circ}\pm 1^{\circ}\text{C}$) berturut-turut adalah 0,6415 ln cfu/jam; 0,4303 ln cfu/jam dan 0,1752 ln cfu/jam. Sedangkan laju inaktivasi mikroba dengan jarak 3 mm, 4 mm dan 5 mm pada suhu dingin ($4-8^{\circ}\text{C}$) berturut-turut 0,204 ln cfu/jam; 0,0556 ln cfu/jam dan 0,017 ln cfu/jam. Dari data-data di atas dapat diambil kesimpulan bahwa jarak 3 mm dengan prosesing pada suhu kamar memberikan hasil laju inaktivasi terbaik. Semakin pendek jarak elektrode akan menghasilkan kuat medan yang semakin tinggi, sehingga mempunyai kemampuan menginaktivasi mikroba lebih baik. Kondisi ini sesuai dengan rumus $E = V/d$, dimana E adalah kuat medan listrik (kV/cm), V adalah tegangan puncak (kV) dan d adalah jarak elektrode (mm).



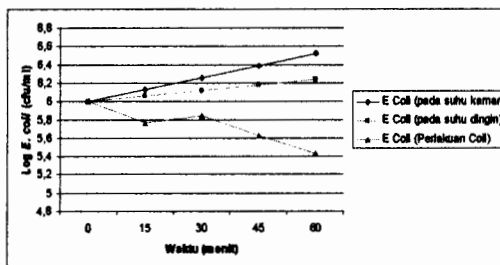
Gambar 3. Laju Inaktivasi Mikroba Pada Berbagai Jarak Elektrode Pada Suhu Ruang ($27^{\circ}\pm 1^{\circ}\text{C}$)



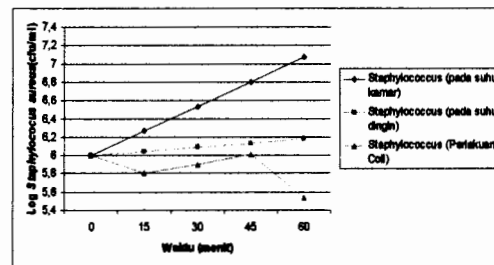
Gambar 4. Laju Inaktivasi Mikroba Pada Berbagai Jarak Elektrode Pada Suhu Dingin ($4-8^{\circ}\text{C}$)

Inaktivasi Mikroba Pathogen pada Berbagai Kondisi

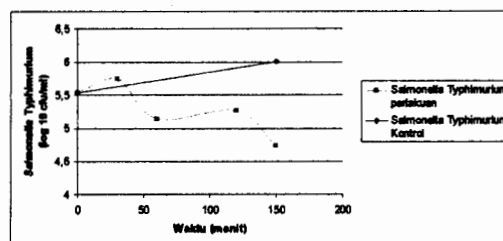
Uji inaktivasi mikroba pathogen menggunakan sumber pembangkitan coil dengan spesifikasi V_{pp} 22,2 kV, V_{maks} 9,5 kV dan kuat arus 0,11 mA. Inaktivasi mikroba pathogen *E.coli* ATCC 25922, *Stapilococcus aureus* ATCC 25923 dan *Salmonella* Typhimurium ATCC 14028 tertera pada Gambar 5, 6 dan 7. Penurunan mikroba pathogen *E. coli*, *Staphylococcus aureus* dan *Salmonella* Typhimurium antara perlakuan HPEF Coil dengan jumlah mikroba kontrol pada suhu kamar berturut-turut adalah 1,085 log siklus; 0,53584 log siklus dan 0,908 log siklus.



Gambar 5. Inaktivasi Bakteri *E. Coli* ATCC 25922 pada Berbagai Kondisi

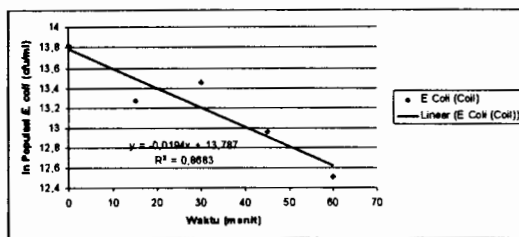


Gambar 6. Inaktivasi Bakteri *Staphylococcus aureus* ATCC 25923

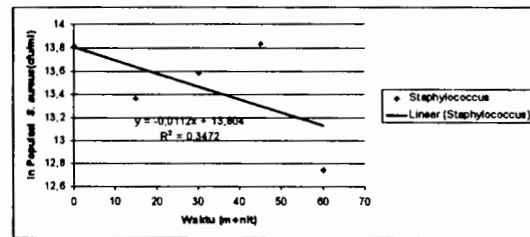


Gambar 7. Inaktivasi Bakteri *Salmonella* Typhimurium pada Berbagai Kondisi

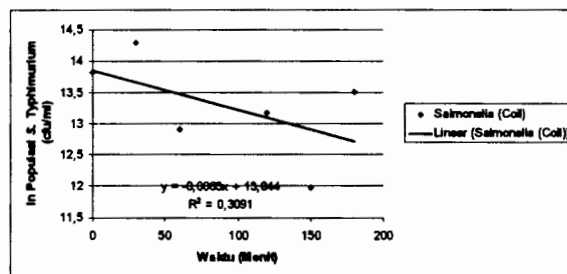
Nilai koefisien (μ) laju inaktivasi mikroba *E. coli*, *Staphylococcus aureus* dan *Salmonella* Typhimurium berturut-turut adalah 0,0194; 0,0112 dan 0,0063. (Gambar 8, 9, dan 10). Nilai K yang kecil menunjukkan rendahnya sensitivitas mikroba terhadap pengaruh medan listrik tegangan tinggi. Berdasarkan data di atas maka bakteri patogen yang peka (mudah diinaktivasi) terhadap pengaruh medan listrik berturut-turut adalah *E. coli*, *Staphylococcus aureus* dan *Salmonella* Typhimurium. Semakin mudah bakteri pathogen diinaktivasi maka ketebalan dinding sel mikroba tersebut semakin rendah.



Gambar 8. Laju Kinetika Inaktivasi Mikroba Pathogen *E. coli*



Gambar 9. Laju Inaktivasi Mikroba Pathogen *Staphylococcus aureus*

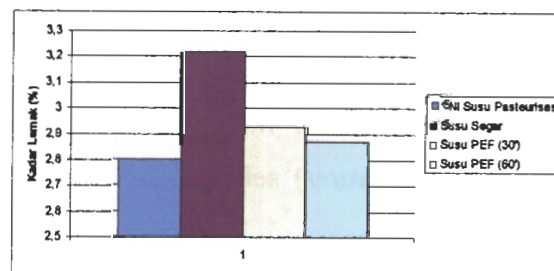


Gambar 10. Laju Inaktivasi Mikroba Pathogen *Salmonella* Typhimurium

Pengujian Sifat Kimia Susu

Hasil pengujian kadar lemak untuk susu segar, SNI susu pasteurisasi dan susu pasteurisasi metode PEF 30" dan 60" berturut-turut adalah 3,215 %; 2,8 %; 2,925 %, dan 2,87 % (Gambar 11). Data kadar lemak yang diperoleh ternyata untuk aplikasi PEF masih di atas dari persyaratan SNI. Oleh karena itu aplikasi PEF dapat diterima. Menurut Henderson (1971) kadar lemak pada susu segar 3,7 % dan pada susu pasteurisasi thermal 3,0 – 3,4 %. Blane (1981), Ressang dan

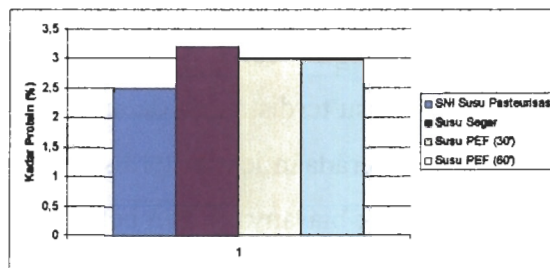
Nasution (1986) serta Varmam (1994), menyatakan bahwa kadar lemak pada susu segar berturut-turut adalah 3,8 %, 3,45 % dan 3,7 %. Menurut data-data di atas terdapat kecenderungan bahwa susu segar mempunyai kandungan lemak yang lebih tinggi bila dibandingkan dengan susu pasteurisasi thermal. Hal ini dikarenakan lemak dalam suspensi susu terdistribusi dalam bentuk emulsi. Emulsi lemak dalam susu terjadi karena keberadaan lemak terdispersi dalam fase air (*oil in water emulsion*). Keberadaan lemak biasanya dalam bentuk globula lemak yang terlindungi oleh membran globula (*fat globul membrane*). Ukuran globula lemak sangat kecil dengan diameter 0,1 – 20 μm , tetapi kebanyakan berukuran 0,3 μm . Hasil pasteurisasi dengan metode HPEF diperoleh bahwa perubahan kadar lemak sangat kecil sekali sehingga dikatakan bahwa perlakuan PEF tidak terlalu merusak/mengurangi lemak susu.



Gambar 11. Kadar Lemak Susu Segar, SNI Susu Pasteurisasi dan Susu Pasteurisasi dengan Metode PEF 30" dan 60"

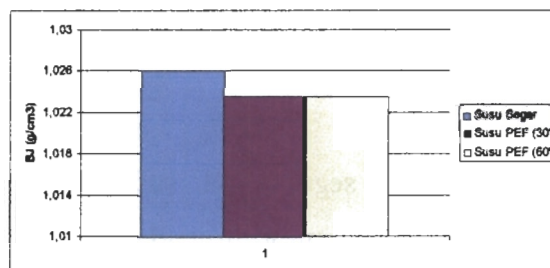
Kadar protein untuk susu segar, SNI susu pasteurisasi dan susu pasteurisasi metode PEF 30' dan 60' berturut-turut adalah 3,21 %; 2,5 %; 2,99 %, dan 2,97 % (Gambar 12). Data kadar protein yang diperoleh ternyata untuk aplikasi PEF masih di atas dari persyaratan SNI. Oleh karena itu aplikasi PEF dapat diterima. Menurut Henderson (1971) kadar protein pada susu segar dan susu pasteurisasi berturut-turut adalah 3,5 % dan 2,73 – 2,90 %. Sedangkan menurut Blane (1981), Ressang dan Nasution (1986) dan Varmam (1994) berturut-turut adalah 3,3 %, 3,2 % dan 3,4 %. Menurut data-data diatas terlihat kecenderungan adanya penurunan nilai kadar protein. Hasil pengujian protein susu segar dan susu setelah dipasteurisasi dengan metode PEF masih dalam kisaran yang

dipersyaratkan Henderson (1971), sehingga aplikasi metode PEF masih dapat dipertanggungjawabkan.



Gambar 12. Kadar Protein Susu Segar, SNI Susu Pasteurisasi dan Susu Pasteurisasi dengan Metode PEF 30" dan 60"

Bahan kering tanpa lemak (BKTL) pada susu segar, SNI susu pasteurisasi dan susu pasteurisasi dengan perlakuan PEF 30' dan 60' berturut-turut adalah 7,91 %; 7,7 %; 7,28 % dan 7,24 %. Berdasarkan data-data di atas maka diperoleh bahwa angka BKTL untuk metode PEF masih dibawah 7,7 %, hal ini dikarenakan terdapat kandungan air (*added water*) sebesar 7 % pada perlakuan 30'; 8,4 % pada perlakuan 60' (Gambar 13).



Gambar 13. Pengujian Berat Jenis Susu Segar dan Susu Pasteurisasi PEF 30" dan 60"

KESIMPULAN

Inaktivasi mikroba pada suhu kamar lebih baik dibandingkan inaktivasi pada suhu dingin berturut-turut untuk jarak elektrode 3 mm adalah 26,16% dan 11,34%, untuk jarak 4 mm 19,28% dan 3,65% dan untuk jarak 5 mm 8,11% dan 0,36%. Inaktivasi mikroba paling tinggi pada jarak elektrode 3 mm diikuti jarak elektrode 4 mm dan 5 mm dengan medan listrik 0,28 kV/cm, 0,21 kV/cm, dan 0,17 kV/cm. Bakteri pathogen yang terdapat pada susu *E. coli*, *Staphylococcus aureus* dan *Salmonella* Typhimurium dapat diinaktivasi menggunakan *coil* berturut-turut sebesar 1,085 log siklus; 0,53584 log siklus dan 0,908 log siklus. Nilai koefisien (μ) laju inaktivasi mikroba (K) pada *E. coli*, *Staphylococcus aureus* dan *Salmonella* Typhimurium berturut-turut adalah 0,0194; 0,0112 dan 0,0063. Nilai μ yang kecil menunjukkan rendahnya sensitivitas mikroba terhadap pengaruh medan listrik tegangan tinggi. Berdasarkan data di atas maka bakteri pathogen yang peka (mudah diinaktivasi) terhadap pengaruh medan listrik berturut-turut adalah *E. coli*, *Staphylococcus aureus* dan *Salmonella* Typhimurium.

UCAPAN TERIMA KASIH

Dengan mengucapkan puji syukur kehadapan Tuhan Yang Maha Esa, akhirnya pelaksanaan kegiatan Program Penelitian KKP3T dapat terselesaikan. Kegiatan program ini disetujui oleh Sekretariat Badan Penelitian Dan Pengembangan Pertanian Departemen Pertanian dengan Surat Perjanjian Pelaksanaan Kegiatan Nomor : 649/LB.620/I.1/2/2009 Tanggal : 20 Pebruari 2009.

DAFTAR PUSTAKA

- Canovas GVB, Tapia MS, Cano MP. 2005. Novel Food Processing Technologies. CRC Press
- Canovas GVB, Zhang GH. 2001. *Pulsed Electric Field in Food Processing*. Technomic Publishing Co. Inc. Lancaster Basel.
- Hülsheger, H., Pottel, J. and Niemann, E. G. 1983. Electric field effects on bacteria and yeast cells. *Radiat Environ Biophys*. 22:149-162

- Peleg, M. 1995. A model of microbial survival after exposure to pulse electric fields. *J Sci Food Agric.* 67(1):93-99
- Zhang, Q. H., Qiu, X. and Sharma, S. K. 1997. Recent development in pulsed electric field processing. Washington, DC. National Food Processors Association. *New Technologies Yearbook.* 31-42.