

STUDI KOMPARASI INAKTIVASI *Escherichia coli*  
DAN PERUBAHAN SIFAT FISIK PADA PASTEURISASI SUSU SAPI  
SEGAR MENGGUNAKAN METODE PEMANASAN DAN TANPA  
PEMANASAN DENGAN KEJUT MEDAN LISTRIK

*Comparison Study on E. coli Inactivation and Physical Changes of Thermal  
and Non Thermal Processing using PEF  
(Pulsed Electric Field) in Fresh Milk Pasteurization*

La Choviya Hawa\*, Bambang Susilo, Natalia Eka Jayasari

Jurusan Keteknikan Pertanian – Fak. Teknologi Pertanian – Universitas Brawijaya  
Jl. Veteran – Malang

\*Penulis Korespondensi: email [el\\_c\\_ha@yahoo.com](mailto:el_c_ha@yahoo.com)

**ABSTRACT**

*The objectives of this research were to determine the lethal rate of E. coli and to analyze the density, moisture content, viscosity, boiling point, freezing point, and color changes in non thermal pasteurization (pulsed electric field), thermal pasteurization (heat treatment), and combination of both in fresh milk. Experimental-descriptive method with 2 factors was used in this research. First factor was voltage (20, 40, 60, 80 and 100 kV) and second factor was type of pasteurization (non thermal, thermal, and combination thermal-non thermal). Pasteurization time was 60 second and each treatment was replicated three times. The results showed that the highest E. coli inactivation was combination of thermal and non thermal pasteurization i.e 2.5 log cycles. Physical attributes (density, moisture content, viscosity, boiling point, freezing point, and color) of milk that treated by non thermal pasteurization and combination did not change significantly after pasteurization compared to fresh milk.*

*Keywords: thermal and non thermal pasteurization, lethal rate, physical attributes*

**PENDAHULUAN**

Pengolahan susu sering dihubungkan dengan proses pasteurisasi. Metode pasteurisasi yang umum diaplikasikan pada produk susu adalah dengan pemanasan. Pasteurisasi dengan pemanasan dapat menyebabkan degradasi nutrisi yang bermanfaat bagi tubuh, juga dapat merusak rasa, warna, tekstur, dan sifat fisik lain dari susu yang dapat menurunkan kualitas produk susu. Dewasa ini telah dikembangkan alternatif untuk pasteurisasi susu yaitu kejut medan listrik atau *Pulsed Electric Fields* (PEF). PEF merupakan pasteurisasi *non thermal* dengan pemberian pulsa kejut listrik tegangan tinggi. Pemberian pulsa tegangan tinggi merupakan salah satu metode pengawetan produk pangan yang potensial

dalam membunuh mikroorganisme tanpa mengubah karakteristik sensoris dan nutrisi dari bahan pangan (Barbosa, 2000).

Bertolak dari beberapa keuntungan metode pasteurisasi PEF, maka perlu dilakukan pengujian metode kombinasi antara pasteurisasi dengan pemanasan dan metode PEF. Diduga penggabungan dua metode pasteurisasi dapat mempercepat laju kematian bakteri *E. coli* dan mengurangi degradasi nutrisi serta sifat fisik dari produk susu sehingga didapatkan produk olahan susu yang berkualitas dan sesuai standar yang ditentukan.

Tujuan dari penelitian ini adalah menentukan laju kematian *E. coli* pada berbagai variasi tegangan, dan menganalisis perubahan massa jenis, kadar air, viskositas, titik didih, titik beku dan warna pada pasteurisasi non termal menggu-

nakan kejut medan listrik, pasteurisasi termal dan kombinasi pasteurisasi termal-non termal

## METODE PENELITIAN

### Alat dan Bahan

Alat yang digunakan adalah rangkaian alat PEF, oven otoklaf YXQ602, vortex VM-2000, *laminar airflow*, inkubator (Binder), laktodensitometer, viskosimeter Brookfield DV-II+ pro, *color reader* Minolta CR-10, termometer, tabung ukur, panci *stainless steel*, botol, *stop watch*, kompor, dan perangkat gelas.

Bahan yang digunakan adalah susu segar yang diperoleh dari KUD DAU, alkohol 95%, akuades, VRBA (Violet Red Bile Agar), dan pepton (Oxoid).

### Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode eksperimental deskriptif dengan perlakuan variasi tegangan dan jenis pasteurisasi. Variasi tegangan yang digunakan adalah 20, 40, 60, 80, dan 100 kV dengan waktu 60 detik. Volume untuk masing-masing perlakuan adalah 500 mL. Jenis pasteurisasi yang dilakukan adalah secara termal (pemanasan), nontermal (PEF), dan kombinasi pemanasan dan PEF. Kontrol yang digunakan adalah kontrol susu sapi segar perlakuan PEF 0 kV dan kontrol susu sapi dengan pemanasan.

Pasteurisasi dengan pemanasan dilakukan pada suhu  $70 \pm 2^\circ\text{C}$  selama 15 detik (Winarno dkk, 1984; Saparianti dkk, 2008). Pasteurisasi nontermal dilakukan dengan menggunakan teknologi PEF. Kombinasi pasteurisasi dilakukan dengan pemanasan dan dilanjutkan dengan PEF. Tiap perlakuan diulang sebanyak 3 kali.

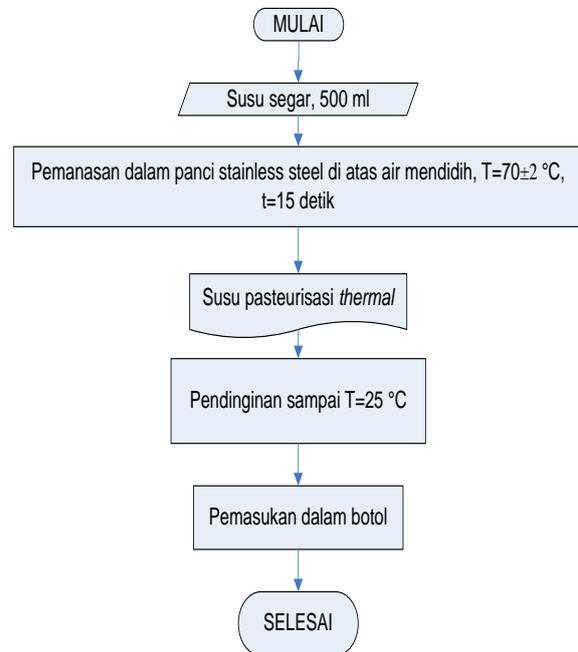
Alat pembangkit pulsa tegangan PEF dan tempat perlakuan ditunjukkan pada Gambar 1 dan 2. Diagram alir proses perlakuan pemanasan, perlakuan PEF dan kombinasi pemanasan dan PEF ditunjukkan pada Gambar 3, 4 dan 5.



Gambar 1. Pembangkit pulsa tegangan tinggi



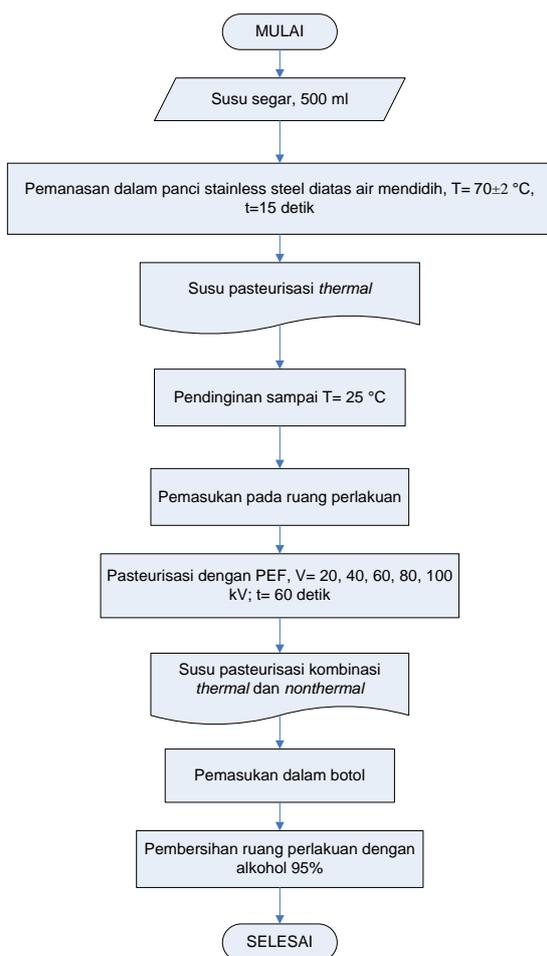
Gambar 2. Ruang perlakuan (*treatment chamber*)



Gambar 3 Diagram alir proses perlakuan pemanasan (Saparianti dkk, 2008)



Gambar 4. Diagram alir perlakuan PEF



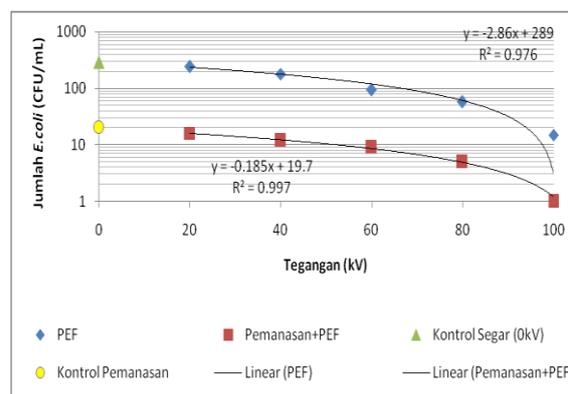
Gambar 5. Diagram alir perlakuan kombinasi

Parameter yang diamati pada penelitian meliputi jumlah *E.coli* sebelum dan sesudah pasteurisasi, dan perubahan sifat fisik susu segar sebelum dan sesudah pasteurisasi yaitu massa jenis, kadar air, viskositas, titik didih, titik beku, dan warna.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Total *Escherichia coli*

Total *E.coli* susu awal sebesar  $2,9 \times 10^2$  CFU/mL. Total *E.coli* terendah pada tegangan 100 kV sebesar  $1,5 \times 10^1$  CFU/mL. Total *E.coli* susu perlakuan pemanasan sebesar  $2,0 \times 10^1$  CFU/mL. Pada perlakuan kombinasi pemanasan dan PEF, total *E. coli* hidup rendah terjadi pada perlakuan tegangan 100 kV sebesar  $0,1 \times 10^1$  CFU/mL. Hubungan antara tegangan dan total bakteri *E. coli* dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Grafik hubungan antara tegangan dan total *Escherichia coli*

Pada Gambar 6 tampak bahwa perlakuan pemanasan mampu mereduksi *E. coli* sebesar 1,2 siklus log, perlakuan PEF mereduksi sebesar 1,3 siklus log dan untuk perlakuan kombinasi mereduksi sebesar 2,5 siklus log. Pada kombinasi perlakuan pemanasan dan PEF lebih efektif menurunkan jumlah *E. coli*. Hal ini dikarenakan pada proses pemanasan dengan suhu  $70 \pm 2^\circ\text{C}$  selama 15 detik mampu menginaktivasi *E. coli*. Fardiaz (1992) menyatakan bahwa *E. coli* merupakan bakteri yang rentan terhadap suhu tinggi. *E. coli* mempunyai suhu maksimum

pertumbuhan 40–45°C, di atas suhu tersebut bakteri *E. coli* mengalami inaktivasi.

*E. coli* selain bakteri tidak tahan panas juga adalah bakteri gram negatif yang rentan terhadap perlakuan PEF. Hal inilah yang menyebabkan pada proses pasteurisasi baik PEF, pemanasan ataupun kombinasi pemanasan dan PEF dapat menginaktivasi hingga lebih dari 1 siklus log. Hasil penelitian ini diperkuat oleh pernyataan Mazurek *et al.* (1995); Pothakamury *et al.* (1995) dan Vega-Mercado (1996) bahwa bakteri gram negatif lebih sensitif terhadap perlakuan PEF daripada bakteri gram positif.

Penelitian terdahulu oleh Muslim (2010), dengan menggunakan susu sapi segar sebagai bahan uji mampu menginaktivasi sebesar 0,61 siklus log *Staphylococcus aureus* pada tegangan 80 kV selama 90 detik. Hasil ini lebih kecil karena *Staphylococcus aureus* merupakan bakteri gram positif yang lebih tahan bila dikenai perlakuan PEF. Penelitian Saprianti dkk (2008), dengan menggunakan air kelapa sebagai bahan uji memberikan hasil kejut medan listrik dengan perlakuan awal pemanasan lebih efektif dalam menurunkan total mikroba dan *E.coli*.

Aronsson *et al.* (2001) menyatakan bahwa pembunuhan mikroba dikarenakan oleh PEF adalah berhubungan dengan kuat tegangan, waktu dan jumlah kejut yang digunakan. Jumlah dari *E. coli*, *L. innocua*, *L. mesenteroides*, dan *S. cereviceae* menurun ketika salah satu parameter ditambah. Pernyataan ini diperkuat dengan pernyataan Sale dan Hamilton (1967) dan Hulsheger *et al.* (1983) bahwa inaktivasi dari sejumlah mikroba bergantung pada kuat tegangan dan jumlah waktu yang digunakan.

Mekanisme kematian mikroba akibat perlakuan PEF diduga karena rusaknya jaringan sel. Pemberian listrik bertegangan tinggi menyebabkan pembentukan pori-pori pada membran sel bakteri. Pernyataan ini diperkuat oleh Pothakamury *et al.* (1995) yang menyatakan bahwa

perlakuan PEF menyebabkan elektroporasi membran sel dan berakibat rusaknya sel mikroorganisme. Oleh karena itu penambahan kematian mikroba dengan kuat tegangan berhubungan dengan penambahan keadaan sel mikroba yang memburuk. Selain itu telah diteliti bahwa mekanisme kematian mikroba pada perlakuan PEF berbeda dengan perlakuan panas. Perlakuan panas (66°C selama 10 menit) menghasilkan kerusakan hebat pada organel sel, tetapi tidak mengalami kerusakan pecahnya dinding sel seperti yang terjadi pada perlakuan PEF.

Energi listrik yang digunakan untuk pasteurisasi susu dengan metode PEF lebih besar dibandingkan dengan pasteurisasi termal. Ekuivalensi data diperoleh pada perlakuan PEF dengan tegangan 20 kV dan perlakuan pemanasan sebesar ± 1300 kJ/l.

#### Kinetika Laju Penurunan dan Laju Kematian Rata-rata *Escherichia coli*

Menurut Toledo (1999), nilai D (*Decimal Reduction Time*) pada pasteurisasi *thermal* merupakan waktu yang diperlukan untuk membunuh mikroba sebesar 90% dengan suhu yang konstan. *Lethal rates* merupakan laju kematian mikroorganisme tiap satuan waktu. Nilai D dan *lethal rates* pasteurisasi susu ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Nilai D dan *lethal rates*

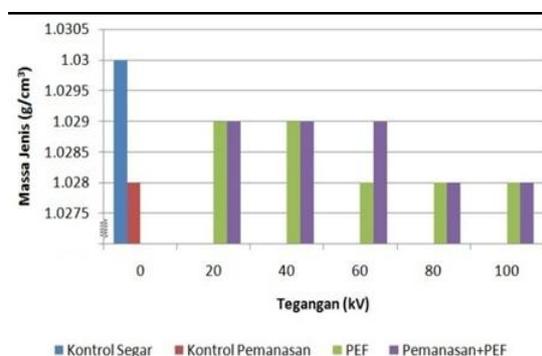
Kombinasi Perlakuan		D (detik)	<i>Lethal Rates</i> ((CFU/mL)/d etik)
Pasteurisasi	Tegangan (kV)		
PEF	20	730,04	0,8
	40	293,68	1,8
	60	122,63	3,3
	80	85,84	3,9
	100	46,64	4,6
Pemanasan + PEF	0	51,66	4,5
	20	47,68	4,6
	40	43,38	4,6
	60	39,78	4,7
	80	34,02	4,7
	100	24,37	4,8

Pada Tabel 1 tampak bahwa semakin besar tegangan yang diberikan, maka nilai D akan semakin kecil. Hal ini terjadi karena semakin besar tegangan yang digunakan maka waktu yang diperlukan untuk membunuh mikroba akan semakin singkat. Ekuivalensi nilai D terjadi pada perlakuan PEF dengan tegangan 100 kV yang setara dengan perlakuan kombinasi pada tegangan 20 kV yaitu  $\pm 47$  detik. Hal ini didukung oleh pernyataan Zeuthen (2003) bahwa faktor-faktor yang mempengaruhi kematian mikroba dengan proses PEF diantaranya yaitu intensitas tegangan, frekuensi, waktu perlakuan, serta konsep *hurdle* (kombinasi perlakuan).

Nilai D kombinasi bernilai lebih baik dibandingkan perlakuan PEF atau pemanasan. Hal ini dikarenakan pada proses kombinasi, susu terlebih dahulu dipanaskan sehingga sebagian besar mikroba terbunuh karenanya. Kemudian dilanjutkan dengan pemberian pulsa tegangan tinggi (PEF) yang menyebabkan semakin mudah membunuh sisa mikroba yang ada.

### Massa Jenis

Massa jenis awal susu sebesar  $1,030 \text{ g/cm}^3$ . Massa jenis setelah PEF berkisar antara  $1,028-1,029 \text{ g/cm}^3$ . Massa jenis susu setelah proses pemanasan adalah  $1,028 \text{ g/cm}^3$ . Pada perlakuan kombinasi pemanasan dan PEF, massa jenis susu berkisar antara  $1,028-1,029 \text{ g/cm}^3$ . Hubungan antara tegangan dan massa jenis ditunjukkan pada Gambar 7.

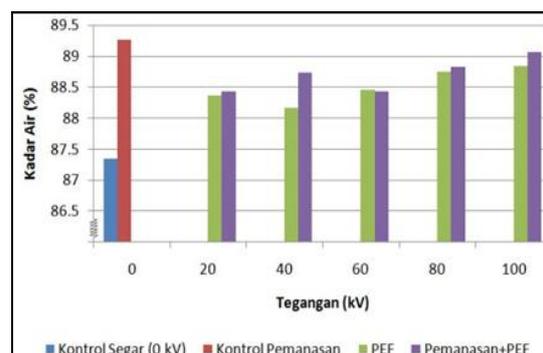


Gambar 7. Hubungan antara tegangan dan massa jenis susu

Pada Gambar 7 tampak bahwa semakin tinggi tegangan yang digunakan maka massa jenis susu semakin menurun, namun penurunannya tidak signifikan. Hasil yang diperoleh ini sesuai dengan syarat mutu susu segar dimana massa jenis susu yang distandarkan adalah minimum  $1,028 \text{ g/cm}^3$  (SNI 01-3141-1998). Menurut Spreer (1998), massa jenis susu bervariasi antara  $1,027-1,035 \text{ g/cm}^3$  tergantung jenis dan kuantitas dari partikel terdispersi. Dengan meningkatnya kandungan lemak, bobot jenis akan menurun. Massa jenis akan meningkat bila kandungan protein, laktosa dan mineral dalam susu meningkat. Menurut Topfl (2006) massa jenis tidak dapat terdegradasi oleh perlakuan PEF saat total padatan terlarut, *sugar-acid-ratio* tidak berubah jumlahnya. Hal inilah yang mendasari konstannya nilai massa jenis hasil pasteurisasi menggunakan teknologi PEF.

### Kadar Air

Kadar air awal susu sebesar 87,35%. Kadar air setelah PEF berkisar antara 88,17-88,84%. Kadar air susu setelah proses pemanasan adalah 89,26%. Pada perlakuan kombinasi pemanasan dan PEF, kadar air berkisar antara 88,43-89,06%. Hubungan antara tegangan dan kadar air dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Hubungan antara tegangan dan kadar air susu

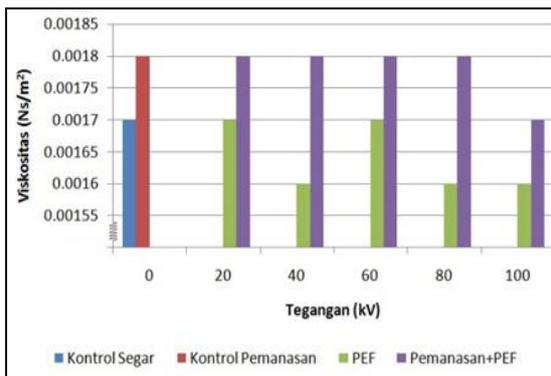
Adanya perlakuan PEF, pemanasan ataupun kombinasi antara pemanasan dan PEF menyebabkan kadar air susu meningkat namun tidak signifikan. Pening-

katan yang terjadi selama proses pasteurisasi adalah sebesar 1,91%. Menurut Barbosa (2000) pemberian pulsa tegangan tinggi tidak membawa efek terhadap sifat fisik terutama kadar air. Hal ini terjadi karena padatan terlarut yang terkandung dalam susu juga tidak mengalami perubahan yang berarti sehingga air yang terkandung relatif tetap.

Kadar air susu sapi secara umum yaitu 87,25% (Rahman dkk., 1992), 80-90% (Maheswari, 2004) dan 87,5% (Winarno, 1984). Tingginya kadar air susu sapi disebabkan karena air merupakan medium pendispersi lemak dan komponen terlarut dalam air susu. Sesuai dengan pernyataan Winarno (1984), bahwa susu merupakan emulsi lemak dalam air, sehingga kandungan air pada susu menjadi lebih tinggi.

**Viskositas**

Viskositas awal susu sebesar 0,0017 Ns/m<sup>2</sup>. Viskositas setelah PEF berkisar antara 0,0016-0,0017 Ns/m<sup>2</sup>. Viskositas setelah pemanasan sebesar 0,0018 Ns/m<sup>2</sup>. Viskositas kombinasi pemanasan dan PEF berkisar antara 0,0017-0,0018 Ns/m<sup>2</sup>. Hubungan antara tegangan dan viskositas ditunjukkan pada Gambar 9.



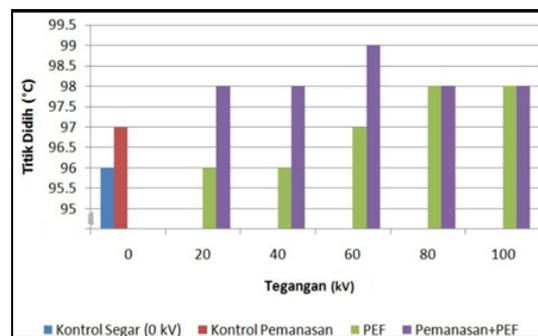
Gambar 9. Hubungan antara tegangan dan viskositas susu

Pada Gambar 9 tampak bahwa variasi tegangan tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap viskositas susu. Pada perlakuan kombinasi nilai viskositas lebih tinggi daripada perlakuan PEF, na-

mun perbedaannya tidak signifikan. Adanya sedikit penurunan nilai pada viskositas dikarenakan terjadi reaksi enzimatis.

**Titik Didih**

Titik didih susu awal sebesar 96°C. Titik didih sesudah PEF berkisar antara 96-98°C. Titik didih pada perlakuan pemanasan sebesar 97°C. Titik didih susu kombinasi pemanasan dan PEF berkisar antara 98-99°C. Hubungan antara tegangan dan titik didih susu ditunjukkan pada Gambar 10.

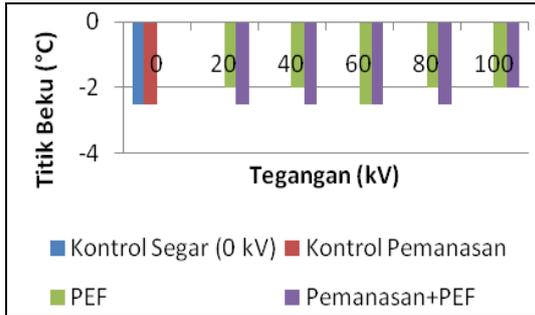


Gambar 10. Hubungan antara tegangan dan titik didih susu

Titik didih susu setelah mengalami pemanasan mengalami sedikit kenaikan (Gambar 10). Hal ini dikarenakan dengan adanya proses pemanasan maka sebagian kecil dari jumlah air diuapkan sehingga kadar gula dalam susu akan lebih tinggi bila dibandingkan dengan perlakuan PEF. Menurut Saleh (2004), titik didih susu sedikit lebih tinggi dari titik didih air murni, yaitu rata-rata 100,17 °C. Hal ini karena bahan-bahan yang terlarut dalam susu akan meningkatkan titik didih.

**Titik Beku**

Titik beku susu awal -2,5°C. Titik beku sesudah PEF berkisar antara -2 hingga -2,5°C. Titik beku setelah proses pemanasan sebesar -2,5°C. Titik didih kombinasi pemanasan dan PEF berkisar antara -2 hingga -2,5°C. Hubungan antara tegangan dan titik beku susu ditunjukkan pada Gambar 11.



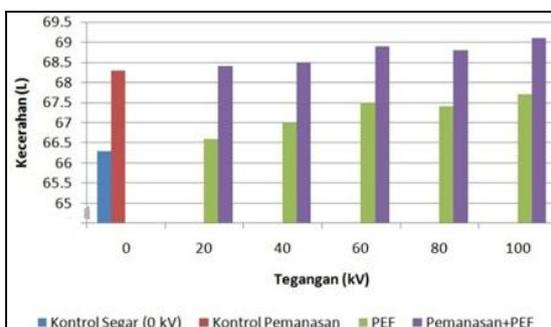
Gambar 11. Hubungan antara tegangan dan titik beku susu

Pada Gambar 11 tampak bahwa titik beku susu setelah pemanasan mengalami sedikit penurunan. Hal ini dikarenakan dengan adanya proses pemanasan maka sebagian kecil dari jumlah air diuapkan sehingga kadar gula dalam susu akan lebih tinggi bila dibandingkan dengan perlakuan PEF.

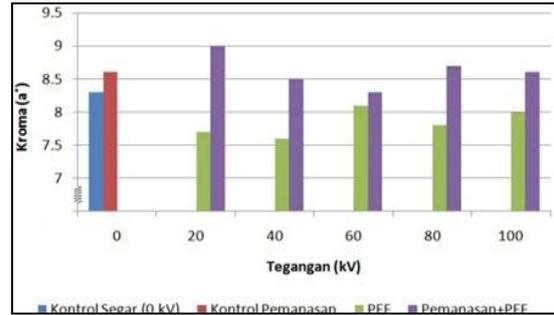
Menurut Saleh (2004), susu mempunyai titik beku rata-rata pada suhu  $-0.55^{\circ}\text{C}$  sampai  $-0.61^{\circ}\text{C}$ . Titik beku susu dipengaruhi oleh komponen terlarut, terutama laktosa dan klorida. Kandungan lemak dan kasein dalam susu tidak mempengaruhi titik beku susu. Variasi kandungan laktosa dan mineral dalam susu sangat kecil, sehingga titik beku susu relatif konstan.

### Warna

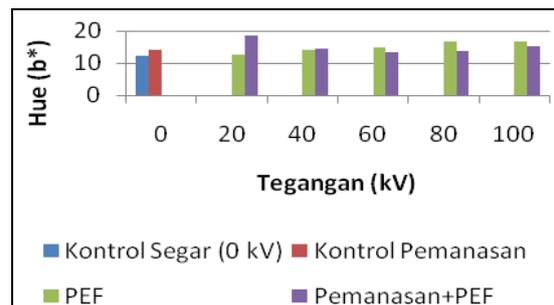
Parameter yang diamati dalam analisis warna susu pasteurisasi ini adalah kecerahan (L), kroma ( $a^*$ ), dan *hue* ( $b^*$ ). Hubungan antara tegangan dengan tingkat kecerahan (L), kroma ( $a^*$ ), dan *hue* ( $b^*$ ) ditunjukkan pada Gambar 12, 13 dan 14.



Gambar 12. Hubungan antara tegangan dan kecerahan (L) susu



Gambar 13. Hubungan antara tegangan dan kroma ( $a^*$ ) susu



Gambar 14. Hubungan antara tegangan dan *hue* ( $b^*$ ) susu

Secara umum, tingkat kecerahan baik pada perlakuan PEF ataupun kombinasi pemanasan dan PEF mengalami kenaikan dengan bertambahnya jumlah tegangan yang diberikan. Perubahan tingkat kecerahan ini dikarenakan reaksi non enzimatis yang terjadi pada susu. Hal ini sesuai dengan pernyataan Moyer dan Aitken (1980) bahwa reaksi pencokelatan nonenzimatis dapat mempengaruhi perubahan warna hal ini dikarenakan oleh reaksi asam amino, gula dan asam organik. Selama proses pasteurisasi baik PEF ataupun pemanasan beberapa enzim berkembang sehingga kondisi inilah yang menyebabkan tingkat kecerahan pada susu semakin meningkat.

Nilai kroma dan *hue* cenderung tidak ada perubahan yang signifikan pada variasi tegangan yang berbeda. Hasil yang didapat mengindikasikan bahwa perlakuan PEF lebih mempertahankan karakteristik fisik dari produk. Hal ini sesuai dengan penelitian Charles-Rodriguez *et al.* (2007) bahwa perubahan warna sari buah pada pengolahan dengan

PEF lebih baik dibandingkan dengan pasteurisasi panas HTST.

Menurut Muchtadi dan Sugiyono (1992), warna susu sapi segar putih kebiruan sampai putih kekuningan (kuning keemasan). Rahman dkk (1992), menyatakan bahwa warna susu dipengaruhi oleh komposisi kimia dan sifat fisiknya, misalnya jumlah lemak, kekentalan susu, kandungan darah dan jenis pakan yang diberikan. Warna susu juga dipengaruhi oleh pertumbuhan mikroba atau kapang pembentuk pigmen pada permukaan susu atau seluruh bagian susu.

### SIMPULAN

Perlakuan kombinasi pemanasan dan PEF mampu mereduksi *E.coli* sebesar 2,5 siklus log. Perlakuan PEF mereduksi 1,3 siklus log dan perlakuan pemanasan mampu mereduksi *E. coli* sebesar 1,2 siklus log. Sifat fisik susu hasil pasteurisasi PEF dan kombinasi pemanasan dan PEF tidak berubah secara signifikan dibanding sifat fisik susu segar awal. Nilai berat jenis berkisar antara 1.028-1,029 g/cm<sup>3</sup>. Kadar air berkisar antara 88,17-89,06%. Viskositas berkisar antara 0,0016-0,0018 Ns/m<sup>2</sup>. Titik didih dan titik beku berkisar antara 96-99°C dan -2 hingga -2,5°C. Tingkat kecerahan (L) berkisar antara 66,6-69,1, kroma (a+) antara 7,6-9,0, dan hue (b+) antara 12,5-18,4.

### DAFTAR PUSTAKA

Aronsson, K., L Martin, R.J. Bengt, and R. Ulf. 2001. *Inactivation of microorganism using pulsed electric field: the influence of process parameters on Escherichia coli, Listeria innocua, Leuconostoc mesenteroides, and Saccharomyces cerevisiae*. Innovative Food Science and Engineering Technologies 2: 41-54

Barbosa, C., E. Pothakamuri, Palau, and B. G Swanson. 2000. Non Thermal Preservation of Food. Marcel Dekker, New York

Charles-Rodriguez, G.V. Nevarez-Moorillon, Q.H. Zhang, dan E. Ortega-Rivas. 2007. *Comparison of thermal processing and pulsed electric fields treatment in pasteurization of apple juice*. Journal of Food and Bioproducts Processing

Fardiaz, D. 1992. Proses Thermal Makanan Kaleng Berasam Rendah. Makalah pada Kursus Singkat Keamanan Pangan. UGM, Yogyakarta

Hulsheger, H., J. Petel, and E.G. Niemann. 1983. *Electric field effect on bacteria and yeast cells*. Radiations and Environmental Biophysics 20:53-65

Maheswari, R.R.A. 2004. Penanganan dan Pengolahan Hasil Ternak Perah. Departemen Ilmu Produksi Ternak, Bagian Ilmu Produksi Ternak Perah Fakultas Peternakan, IPB, Bogor

Mazurek, B., Lubicki, P., & Staroniewicz, Z. 1995. *Effect of short HV pulses on bacteria and fungi*. IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation 2(3): 418-425

Moyer, J.C. and H.C. Aitken. 1980. Apple juice. Dalam P.E. Nelson, and D.K. Tressler., (eds). Fruit and Vegetable Juice Processing Technology, 212-267. Avi Publishing Co., Inc, Westport-USA

Muchtadi, T.R. dan Sugiyono. 1992. Ilmu Pengetahuan Bahan Pangan. IPB. Bogor.

Muslim, C. 2010. Pasteurisasi Nonthermal pada Susu Sapi Segar untuk Menginaktivasi Bakteri *Staphylococcus aureus* Berbasis *Pulsed Electric Field* (PEF). Skripsi. FTP-UB. Malang.

Pothakamuri, U.R., A. Monsalve-Gonzalez, G.V. Barbosa-Canovas, and B.G. Swanson. 1995. *Inactivation of Escherichia coli and Staphylococcus aureus in model foods by pulsed electric field technology*. Food Research International 28(2): 167-171

Rahman A., S. Fardiaz, W.P. Rahayu, Suliantari dan C.C. Nurwitri. 1992. Teknologi Fermentasi Susu. PAU IPB, Bogor

- Sale, A. J. H. and W.A. Hamilton. 1967. *Effects of high electric fields on microorganisms. (I) killing bacteria and yeast.* Biochimica et Biophysica Acta 148: 781-788
- Saleh, E. 2004. Dasar Pengolahan Susu dan Hasil Ikutan Ternak. Fakultas Pertanian-USU, Medan
- Spreer, E.1998. Milk and Dairy Product Technology. Marcel Dekker, Inc., New York
- Toledo, R. T. 1999. Fundamental of Food Processing Engineering. The AVI Publishing Company Inc. Westport, Connecticut
- Topfl, S. 2006. Pulsed Electric Fields (PEF) for Permeabilization of Cell Membranes in Foods and Bioprocessing Applications, Process and Equipment Design and Cost Analysis. Universitas Berlin, Berlin
- Vega-Mercado, H., O. Mart´ın-Belloso, F.J. Chang, G.V. Barbosa-Canovas, and B.G. Swanson. 1996. *Inactivation of Escherichia coli and bacillus subtilis suspended in pea soup using pulsed electric field.* Journal of Food Processing and Preservation 20: 511-514.
- Winarno, F. G., S. Fardiaz., D. Fardiaz. 1984. Pengantar Teknologi Pangan. PT Gramedia, Jakarta
- Saparianti, E., Harijono, dan B.D. Wulandari. 2008. *Inaktivasi mikrob dengan kombinasi metode kejut medan listrik dan pemanasan pada air kelapa sebagai bahan baku minuman isotonik.* Jurnal Teknologi Pertanian 9(3): 199-206
- Zeuthen, P.S. 2003. Food Preservation Techniques. Woodhead Publishing Limited, US