

LAJU INAKTIVASI MIKROBA PADA BERBAGAI PERLAKUAN JARAK ELEKTRODE PADA TEKNOLOGI MEDAN PULSA LISTRIK TEGANGAN TINGGI SISTEM SIRKULASI

Budi Hariono^{*)} Sutrisno^{**)} Kudang Boro Seminar^{**)} Rarah Ratih A Maheswari^{**)}

ABSTRAK

Prinsip Teknologi Medan Pulsa Listrik Tegangan Tinggi (*HPEF*) adalah bahan pangan cair dikenakan kejutan medan pulsa listrik tegangan tinggi dalam waktu singkat (10 – 10.000 mikro sekon), sehingga tidak menyebabkan perubahan kualitas, kandungan nutrisi tetapi mampu menekan bakteri pathogen (Quass, 1997).

Tujuan penelitian ini adalah melakukan kajian laju inaktivasi mikroba pada susu sapi utuh pada berbagai perlakuan jarak elektrode dengan menggunakan metode kejut listrik tegangan tinggi sistem sirkulasi. Susu dilewatkan pada ruang chamber dengan laju aliran sebesar 3,6 liter/jam dengan sumber pembangkitan tegangan tinggi 15 kV, arus listrik 25 mA dengan perlakuan jarak elektrode 2 mm, 3 mm dan 4 mm. Hasil yang dicapai adalah laju inaktivasi mikroba pada jarak elektrode 2 mm adalah $Y = -0,0316 X + 18,475$; pada jarak electrode 3 mm adalah $Y = -0,0282 X + 18,518$; serta pada jarak electrode 4 mm adalah $Y = -0,0206 X + 18,821$ dengan kinetika inaktivasi mikroba untuk performance alat adalah $Y = -0,0055 X + 0,0433$ dengan $R^2 = 0,95$ dengan laju inaktivasi (μ) = 0,0055 ln cfu/menit, dimana Y adalah laju inaktivasi mikroba (log cfu/menit) dan X adalah waktu perlakuan (menit).

Kata kunci : Jarak Elektrode, Laju inaktivasi, Sirkulasi

PENDAHULUAN

Kerusakan susu baik secara fisik maupun kimia sangat merugikan. Kualitas susu yang menurun menyebabkan timbulnya masalah dalam hal pengolahan susu untuk menjadi produk lain dan juga tidak layak dikonsumsi secara langsung sebagai susu segar (Muchtadi dan Sugiyono, 1992). Oleh karena itu, kualitas susu perlu diperhatikan dan terjamin sampai susu tersebut siap dikonsumsi. Kriteria yang sangat berpengaruh terhadap kualitas susu diantaranya adalah pencemaran mikroorganisme di dalam susu.

Sebelum susu segar dikonsumsi, biasanya dilakukan proses pasteurisasi pada susu minimal 62,8°C selama 30 menit untuk metode LTLT (*Low Temperature Long Time*) atau pada suhu 75°C selama 15 detik untuk metode HTST (*Hight Temperatur Short Time*). Tujuan pasteurisasi adalah untuk menginaktifkan sel-sel vegetatif bakteri pathogen, bakteri pembusuk dan bakteri pembentuk toksin dengan cara pemberian panas. Metode pasteurisasi

thermal ini memberikan pengaruh pada kerusakan gizi dan kualitas susu seperti warna, tekstur dan cita rasa (Quass, 1997).

Dewasa ini telah dikembangkan proses pasteurisasi menggunakan Medan Pulsa Listrik Tegangan Tinggi (*High Pulsed Electric Field = HPEF*) yang lebih unggul dibandingkan dengan perlakuan panas pada proses pangan konvensional, karena tidak terjadi perubahan pada sifat sensorik dan sifat fisik bahan pangan (Quass, 1997). Beberapa kelebihan proses pasteurisasi metode *HPEF* antara lain : proses pasteurisasi menjadi lebih efektif, mudah, murah, dan aman. Dengan proses pasteurisasi tersebut tingkat kesegaran produk bahan pangan akan terjamin secara maksimal, kenampakan fisik tidak mengalami perubahan berarti, sehingga akan dicapai standar kualitas produk yang lebih baik. Dengan demikian akan diperoleh daya saing produk di pasaran yang lebih baik. Menurut Quass (1997) bahwa aplikasi *HPEF* pada prosesing bahan pangan cair yang dilewatkan diantara dua elektrode dengan waktu singkat (mikrodetik)

^{*)}Mahasiswa Program Doktor, Ilmu Keteknikan Pertanian, Sekolah Pasca Sarjana Institut Pertanian Bogor

^{**)}Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor, Kampus IPB Darmaga Bogor 16680

menggunakan kuat medan antara 20-80 kV/cm, sedangkan menurut Mittal (2009) aplikasi HPEF menggunakan kuat medan antara 10-100 kV/cm.

Untuk mengatasi permasalahan tersebut maka dipelopori oleh Zang (1988), di Ohio State University telah dikembangkan suatu metode baru dengan teknologi pasteurisasi bahan pangan tanpa panas, terutama bahan pangan cair, berupa teknologi HPEF. Teknologi HPEF memiliki beberapa keunggulan dibanding dengan teknologi konvensional lainnya. Hal ini disebabkan karena pada cara ini bahan pangan hanya dikenakan kejutan medan listrik tegangan tinggi dengan waktu yang singkat berkisar beberapa mikrodetik, sehingga tidak menyebabkan perubahan atau pengurangan kualitas dan kandungan nutrisi bahan pangan

Secara umum penelitian ini bertujuan untuk mengetahui laju inaktivasi mikroba pada susu sapi segar yang diperlakukan dengan HPEF pada berbagai jarak elektrode terhadap waktu perlakuan.

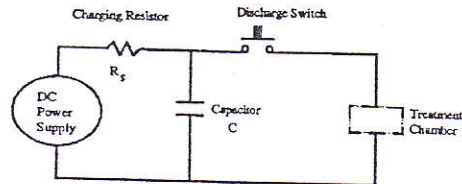
TINJAUAN PUSTAKA

1. Prinsip Kerja

Prinsip kerja dari alat pasteurisasi dengan teknologi HPEF adalah bahan pangan cair dikenakan medan pulsa listrik tegangan tinggi dengan intensitas tertentu yang dibangkitkan dari sebuah generator tegangan (*coil*). Berbagai jenis pembangkit dapat dipilih sesuai dengan kebutuhannya, sebagai contoh telah digunakan Pearson Coil untuk membangkitkan tegangan tinggi oleh Zhang *et al.* (1999). Kuat medan listrik yang digunakan sebesar 10 – 100 kV/cm dengan waktu perlakuan 10 – 10.000 mikro second dapat menyebabkan pecahnya dinding sel secara permanen yang menyebabkan kematian sel (Mittal, G.S. 2009).

Pada Gambar 1 dapat dilihat prinsip kerja dari teknologi pasteurisasi dengan medan pulsa listrik tegangan tinggi. Unit HPEF terdiri atas: a) wadah susu, b) pompa, c) sumber listrik tegangan tinggi d) switch tegangan tinggi dan e) rangkaian R-C. Muatan listrik mengalir dari sumber tegangan tinggi (DC Power Supply) melalui tahanan (R_s) dan selanjutnya tersimpan dalam kapasitor (C). Ketika switch tegangan tinggi terhubung maka muatan listrik tegangan

tinggi akan mengisi ruang prosesing (*treatment chamber*) sebesar muatan yang disimpan dalam kapasitor (C). Pada saat switch diputus maka muatan listrik yang ada di ruang prosesing akan dikosongkan yang digunakan untuk inaktivasi mikroba (Barbosa-Canovas, *et al.* 1999).



Gambar 1. Prinsip kerja teknologi HPEF

2. Hasil Penelitian Terdahulu

Beberapa hasil penelitian metode HPEF telah diaplikasikan dalam rangka memperpanjang daya simpan berbagai produk susu. Dunn dan Pearlman (1987) melakukan percobaan susu yang diinokulasi *Salmonella* Thypimurium dan dikenai medan pulsa listrik tegangan tinggi 36,7 kV/cm dengan perlakuan frekuensi 40 Hz, ternyata setelah disimpan 8 hari pada suhu 7-9°C tidak terdapat *Salmonella*. Susu yang tidak dipasteurisasi jumlah total mikroba meningkat 10^7 cfu/ml dan susu yang dipasteurisasi mempunyai jumlah mikroba 4×10^2 cfu/ml. Hal ini berarti mampu mengurangi jumlah mikroba 5 log-siklus. Hasil penelitian lain dari Dunn (1996) mendapatkan bahwa susu yang diinokulasi bakteri *E coli* terdapat sedikit perubahan flavor dan tidak mengalami perubahan kualitas fisik dan kimia. Bakteri *E coli* berkurang 3 – log siklus. Fernandez-Molina *et al.* (1999) melaporkan susu segar yang dipasteurisasi dengan medan pulsa listrik tegangan tinggi sebesar 30 kV/cm, frekuensi 30 Hz, lebar pulsa 2 μ s dan suhu proses tidak lebih dari 28°C mempunyai masa simpan 22 hari dengan kandungan total mikroba $3,6 \times 10^2$ cfu/ml dan *coli form* negatif.

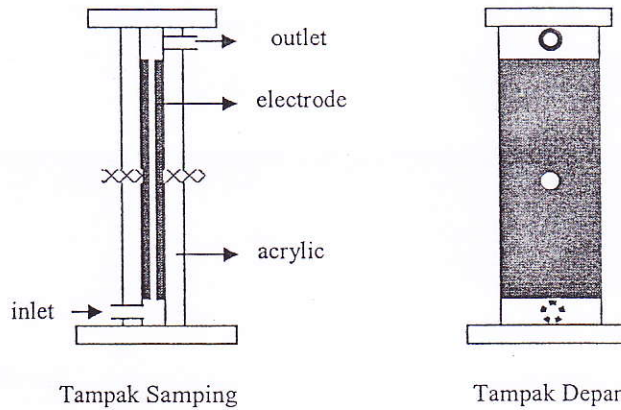
Reina *et al.* (1998), melaporkan bahwa susu yang dipasteurisasi dengan medan pulsa listrik 30 kV/cm, dengan lebar pulsa 1,5 μ s dengan suhu proses tidak lebih dari 50°C melalui sistem kontinyu dengan *treatment chamber tipe cofield* dengan volume 20 ml, jumlah mikroba *Listeria*

^{*)}Mahasiswa Program Doktor, Ilmu Keteknikan Pertanian, Sekolah Pasca Sarjana Institut Pertanian Bogor
^{**)}Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor, Kampus, IPB Darmaga Bogor 16680

monocytogenes berkurang 3-4 log-siklus. Gupta dan Murray (1998), melakukan pasteurisasi susu dengan medan listrik 9 kV/cm, lebar pulsa 1 μ s melalui sistem batch dengan diameter *treatment chamber* 6,35 mm menunjukkan kemampuan menginaktivasi mikroba *Pseudomonas fragi* hingga 4,5 log-siklus.

3. Ruang Proses (*treatment chamber*) Paralel Plate Tipe Sirkulasi

Ruang proses terdiri atas electrode yang terbuat dari bahan stainless steel ST 316 yang dipisahkan oleh bahan isolator berupa acrylic. Ruang proses mempunyai dimensi panjang dan lebar berturut-turut 250 mm dan 40 mm dengan jarak antar electrode sesuai perlakuan yaitu: 2 mm, 3 mm dan 4 mm (tertera pada Gambar 2).



Gambar 2. Ruang proses (*treatment chamber*) paralel plate tipe sirkulasi

4. Laju Inaktivasi Mikroba

Laju inaktivasi (μ) adalah laju kematian mikroba dalam phase eksponensial. Perubahan biomass (dx) dengan waktu (dt) mempunyai hubungan negatif dengan awal biomass (x) (Kardena E 1995), sehingga :

$$\frac{dx}{dt} = \mu x \quad \dots\dots (1)$$

$$x_t = x_o \cdot e^{\mu t} \quad \dots\dots (2)$$

$$\ln x - \ln x_o = \mu (t - t_o) \quad \dots\dots (3)$$

$$\mu = \frac{\ln x - \ln x_o}{t - t_o} \quad \dots\dots (4)$$

METODE PENELITIAN

1. Alat dan Bahan

Peralatan yang digunakan adalah seperangkat alat HPEF dengan komponen utama sebagai berikut: (a) Pipa stainless

steel (ST 316), berfungsi untuk menyalurkan bahan pangan cair, (b) Pompa R-O kapasitas 0,6 liter/menit, berfungsi untuk mengalirkan susu, (c) Filter, berfungsi sebagai penyaring susu sebelum diproses di ruang proses, (d) Coil, berfungsi sebagai pembangkit tegangan tinggi, (e) Multi tester, berfungsi sebagai alat ukur besaran listrik, (f) Elektroda, berfungsi sebagai piranti untuk menimbulkan lompatan medan listrik. Sedangkan alat dan bahan kimia untuk analisa TPC adalah burn set, cawan petri, tabung reaksi, oven, digital colony counter, media PCA (*Plate Count Agar*), dan alcohol.

2. Perlakuan

Penelitian ini menggunakan dua variasi perlakuan suhu yaitu jarak elektrode dengan 3 variasi yaitu 3 mm, 4 mm dan 5 mm dan waktu perlakuan dengan 5 variasi yaitu kontrol (0 menit), 15, 30, 45 dan 60 menit. Tiap perlakuan diulang sebanyak 3 kali.

^{*)}Mahasiswa Program Doktor, Ilmu Keteknikan Pertanian, Sekolah Pasca Sarjana Institut Pertanian Bogor
^{***)}Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor, Kampus IPB Darmaga Bogor 16680

Sample susu sapi segar sebelum dan sesudah perlakuan diencerkan menggunakan larutan fisiologis dan mikroba dibiakkan dalam larutan medium agar. Penghitungan jumlah bakteri dilakukan dengan metode TPC (*Total Plate Count*).

3. Metode Total Plate Count (TPC) (Dewan Standarisasi Nasional, 1992).

Pemupukan dilakukan dengan menggunakan media *Plate Count Agar* (PCA) dengan cara 1 ml inokulan diambil dengan pipet ke dalam cawan petri steril dan selanjutnya medium PCA yang telah dingin (suhu kira-kira 37°C) dituangkan ke dalam cawan petri steril tersebut sebanyak 12-15 ml. Campuran tersebut dihomogenkan dengan cara cawan petri digerakkan dengan arah membentuk angka delapan. Setelah agar mengeras, cawan petri diinkubasikan dengan posisi terbalik pada suhu $35 \pm 1^\circ\text{C}$ selama 24-48 jam. Jumlah bakteri ditentukan dengan metode hitungan cawan dan untuk melaporkan hasil analisis digunakan *Standard Plate Count* (SPC).

4. Prosedur Penelitian HPEF

- a. Susu sapi segar ditampung dalam bejana susu yang terbuat dari bahan stainless steel ST 316.
- b. Susu sapi segar dipompa dengan laju aliran 0,6 liter/menit melewati saluran *input treatment chamber* yang telah dialiri medan pulsa listrik dari sumber tegangan 15 kV 25 mA dengan frekuensi 25 Hz

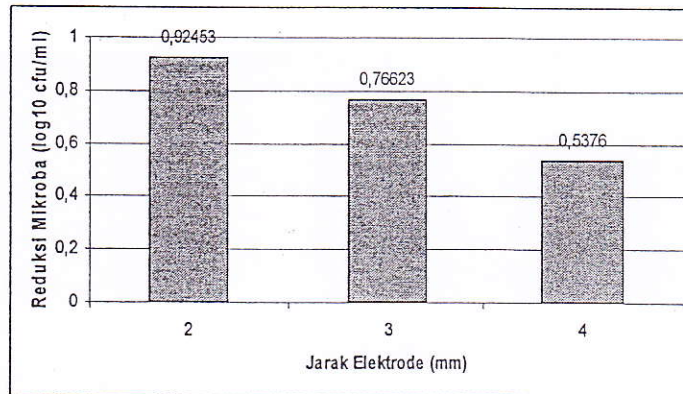
yang diukur pada *switch* dengan osiloskop.

- c. Susu sapi selanjutnya keluar melalui saluran *output treatment chamber* yang selanjutnya kembali ke bejana susu.
- d. Susu diambil sampelnya pada menit 0, 15, 30, 45 dan 60 menit, yang selanjutnya dilakukan pengujian kandungan total mikroba dengan metode TPC.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengaruh Jarak Elektrode Terhadap Penurunan Total Mikroba

Jarak elektrode berpengaruh langsung terhadap nilai kuat medan yang dihasilkan. Semakin rendah jarak elektrode maka nilai kuat medan akan semakin besar, demikian sebaliknya. Spesifikasi sumber tegangan tinggi yang digunakan dalam penelitian ini adalah 15 kV, 25 mA. Nilai kuat medan diperoleh dari hasil bagi antara tegangan maksimum yang terbaca osiloskop dengan jarak elektrode (FDA 2000). Nilai tegangan maksimum (V-maks) yang terbaca di osiloskop sebesar 11,7 kV maka untuk jarak 2 mm, 3 mm dan 4 mm mempunyai nilai kuat medan berturut-turut sebesar 58,5 kV/cm, 39 kV/cm dan 29,25 kV/cm. Inaktivasi mikroba (\log_{10} cfu/ml) merupakan fungsi dari nilai kuat medan (kV/cm) tertera pada Gambar 3.



Gambar 3. Inaktivasi mikroba (\log_{10} CFU/ml) pada berbagai nilai kuat medan (kV/cm)

¹⁾Mahasiswa Program Doktor, Ilmu Keteknikan Pertanian, Sekolah Pasca Sarjana Institut Pertanian Bogor
²⁾Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor, Kampus IPB Darmaga Bogor 16680

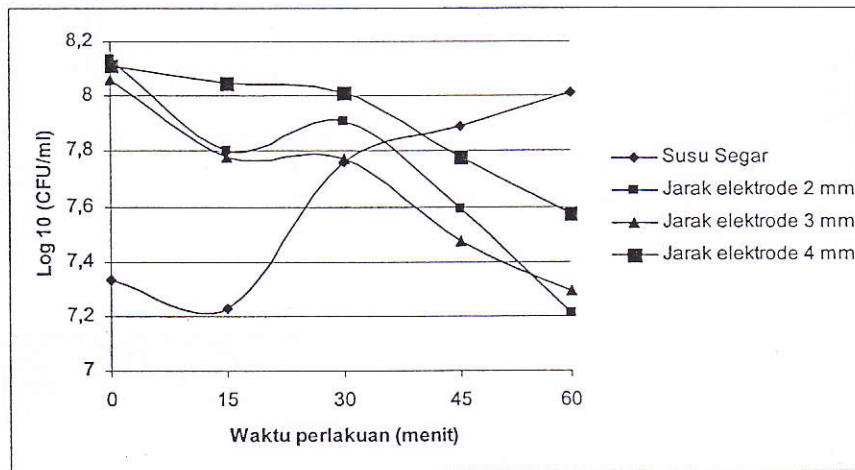
Pada Gambar 3 menunjukkan bahwa semakin kecil jarak elektrode 2mm, 3 mm dan 4 mm akan memberikan nilai reduksi terhadap mikroba semakin tinggi berturut-turut sebesar 0,92 log-siklus, 0,77 log-siklus dan 0,54 log-siklus, sedangkan pada susu sapi kontrol terjadi kenaikan jumlah populasi mikroba sebesar 0,68 log-siklus (Tabel 1 dan Gambar 4).

Korelasi antara waktu perlakuan (menit) dengan reduksi mikroba (\log_{10}

cfu/ml) untuk jarak elektrode 2 mm, 3 mm dan 4 mm berturut-turut adalah $Y_{(2\text{ mm})} = -0,0137X + 8,141$ dengan $R^2 = 0,86$; $Y_{(3\text{ mm})} = -0,0122X + 8,0421$ dengan $R^2 = 0,95$ dan $Y_{(4\text{ mm})} = -0,0089X + 8,174$ dengan $R^2 = 0,90$ sedangkan untuk susu kontrol mempunyai laju pertumbuhan mikroba sebesar $Y_{(\text{kontrol})} = 0,0134X + 7,244$ dengan $R^2 = 0,85$.

Tabel 1. Hasil perhitungan populasi mikroba dengan metode TPC

| Perlakuan | Rata-rata $\log_{10}(\text{cfu/ml})$ dari tiga ulangan | | | | |
|------------|--|---------|---------|---------|---------|
| | 0 | 15' | 30' | 45' | 60' |
| susu segar | 7,33646 | 7,23045 | 7,76118 | 7,89209 | 8,01284 |
| jarak 2 mm | 8,13672 | 7,79934 | 7,90849 | 7,59106 | 7,21219 |
| jarak 3 mm | 8,06070 | 7,77597 | 7,77085 | 7,47276 | 7,29447 |
| jarak 4 mm | 8,11394 | 8,04532 | 8,01284 | 7,78032 | 7,57634 |

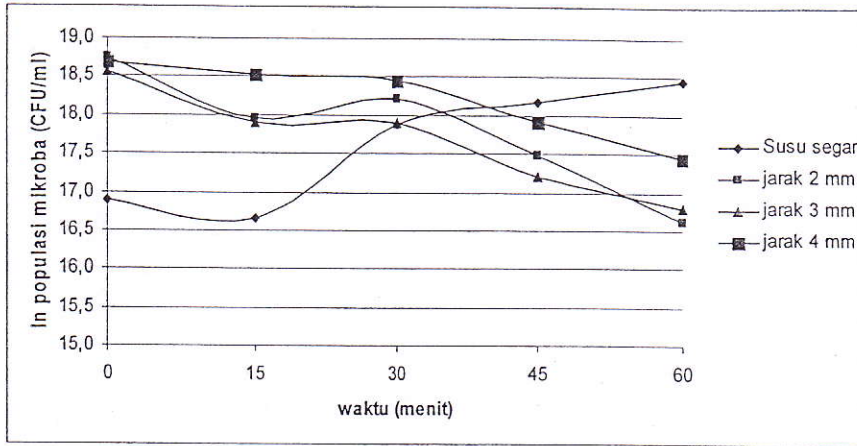


Gambar 4. Penurunan total mikroba dengan jarak elektrode yang berbeda

Gambar 5 memberikan data untuk laju pertumbuhan mikroba terhadap waktu pada susu segar (kontrol) sebesar $Y_{(\text{kontrol})} = 0,0309X + 16,679$ dengan nilai $R^2 = 0,85$, sedangkan laju inaktivasi untuk perlakuan jarak 2 mm, 3 mm dan 4 mm terhadap waktu berturut-turut adalah $Y_{(2\text{ mm})} = -0,0316X + 18,745$ dengan $R^2 = 0,86$; $Y_{(3\text{ mm})} = -$

$0,0282X + 18,518$ dengan $R^2 = 0,95$ dan $Y_{(4\text{ mm})} = -0,0206x + 18,821$ dengan $R^2 = 0,90$. Koefisien laju inaktivasi untuk jarak elektrode 2 mm, 3 mm dan 4 mm berturut-turut adalah 0,032; 0,028 dan 0,021 ln cfu/menit. Semakin kecil jarak antar elektrode akan memberikan nilai inaktivasi mikroba yang lebih besar.

^{*)}Mahasiswa Program Doktor, Ilmu Keteknikan Pertanian, Sekolah Pasca Sarjana Institut Pertanian Bogor
^{**)}Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor, Kampus IPB Darmaga Bogor 16680

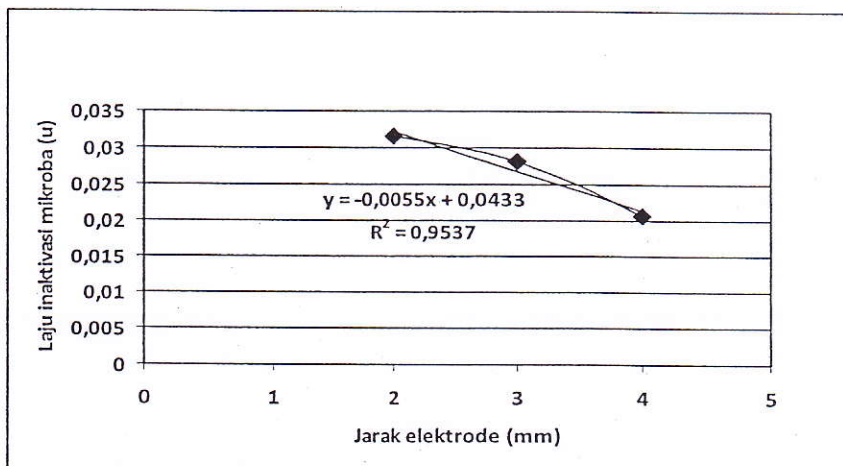


Gambar 5. Laju pertumbuhan mikroba (susu segar) dan laju inaktivasi mikroba pada berbagai jarak elektrode

Model Kinematika Inaktivasi Mikroba

Kinetika inaktivasi mikroba untuk susu segar yang dipasteurisasi dengan metode HPEF menggunakan sistem sirkulasi dengan kapasitas pemompaan susu

0,6 liter/menit menunjukkan kematian dengan laju inaktivasi mikroba (μ) = 0,0055 ln cfu/menit, dengan model kinetika inaktivasi mikroba $Y = - 0,0055 X + 0,0433$ dengan $R^2 = 0,95$ (Gambar 6).



Gambar 6. Performace alat HPEF yang didesain

KESIMPULAN

a. Laju pertumbuhan mikroba pada susu segar (kontrol) adalah $Y = 0,0309 X + 16,679$; sedangkan laju inaktivasi mikroba pada jarak elektrode 2 mm adalah $Y = -0,0316 X + 18,475$; pada jarak elektrode 3 mm adalah $Y = -0,0282 X + 18,518$; serta pada jarak elektrode 4 mm adalah $Y = -0,0206 X + 18,821$.

b. Laju inaktivasi mikroba untuk jarak elektrode 2 mm; 3 mm dan 4 mm berturut-turut adalah 0,032; 0,028 dan 0,021 ln cfu/menit. Model kinetika inaktivasi mikroba untuk performance alat adalah $Y = - 0,0055 X + 0,043$ dengan $R^2 = 0,95$ dengan laju inaktivasi (μ) = 0,0055 ln cfu/menit.

^{*)}Mahasiswa Program Doktor, Ilmu Keteknikan Pertanian, Sekolah Pasca Sarjana Institut Pertanian Bogor
^{**)}Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor, Kampus IPB Darmaga Bogor 16680

- c. Perlakuan lama proses pasteurisasi selama 1 jam mampu menurunkan populasi mikroba untuk jarak electrode 2 mm; 3 mm dan 4 mm berturut-turut adalah 0,92 log-siklus; 0,77 log-siklus dan 0,54 log-siklus

DAFTAR PUSTAKA

- Barbosa-Cánovas, G. V., Gongora-Nieto, M. M., Pothakamury, U. R., Swanson, B. G. 1999. Preservation of foods with pulsed electric fields. Academic Press Ltd. London.
- [DSN] Dewan Standardisasi Nasional. 1992. SNI 01-2891-1992 : Cara Uji Makanan dan Minuman. Dewan Standardisasi Nasional, Jakarta
- Dunn, J. E. and Pearlman, J. S. 1987. Methods and apparatus for extending the shelf-life of fluid food products. Maxwell Laboratories, Inc. U. S. Patent 4,695, Dunn, J. 1996. Pulsed light and pulsed electric field for foods and eggs. *Poul Sci.* 75(9):1133-1136
- [FDA] Food Drug Administration. 2000. Kinetics of Microbial Inactivation for Alternative Food Processing Technologies Pulsed Electric Fields. Center for Food Safety and Applied Nutrition
- Fernandez-Molina, J. J., Barkstrom, E., Torstensson, P., Barbosa-Cánovas, G. V. and Swanson, B. G. 1999. Shelf-life extension of raw skim milk by combining heat and pulsed electric fields. *Food Res Int*
- Gupta, R. P., and Murray, W. 1988. Pulsed high electric field sterilization. *IEEE Pulsed Power Conference Record*, pp. 58-64.
- Kardena E. 1995. The Characterisation of a Three Membered Microbial Community Growing on 1,6 Dichlorohexane. Disertasi. University of Wales College of Cardiff.
- Mittal, G.S. 2009. Non Thermal Food Processing with Pulsed Electric Field Technology. Food Safety Series. www.asabe.org [7 Juni 2010]
- Muchtadi TR dan Sugiyono. 1992. Ilmu Pengetahuan Bahan Pangan. Petunjuk Praktikum. PAU Pangan dan Gizi. Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Quass, D. W. 1997. Pulsed electric field processing in the food industry. A status report on PEF. Palo Alto, CA. Electric Power Research Institute. CR-109742.
- Reina, L. D., Jin, Z. T., Yousef, A. E. and Zhang, Q. H. 1998. Inactivation of *Listeria monocytogenes* in milk by pulsed electric field. *J Food Protect.* 61(9):1203-1206
- Zhang, Q. H., Qiu, X. and Sharma, S. K. 1999. Recent Development In Pulsed Electric Field Processing. Washington, DC. National Food Processors Association. New Technologies Yearbook. 31-42.