

“Susu Listrik” Alat Pasteurisasi Susu Kejut Listrik Tegangan Tinggi (*Pulsed Electric Field*) Menggunakan Transformator Tegangan Tinggi dan Inverter.

Veri Andriawan*, Bambang Susilo

Jurusan Keteknikan Pertanian - Fakultas Teknologi Pertanian - Universitas Brawijaya
Jl. Veteran, Malang 65145

*Penulis Korespondensi, Email: verieandre@gmail.com

ABSTRAK

Pulsed Electric Field (PEF) adalah salah satu metode pengolahan pangan non-termal dengan menggunakan kejutan listrik intensitas tinggi yang diaplikasikan pada bahan yang berbentuk cair. Proses berlangsung antara satu mikrodetik sampai satu milidetik dengan pulsa yang pendek dan tegangan antara 20-80 kV. Aplikasi teknologi PEF digunakan untuk pasteurisasi susu dari mikroorganisme, sehingga mempunyai umur simpan yang lebih panjang serta aman dikonsumsi masyarakat. Tujuan penelitian ini adalah untuk merancang dan membuat alat pasteurisasi susu dengan teknologi *Pulsed Electric Field* (PEF), mengetahui prinsip kerja pasteurisasi dengan PEF serta mengetahui karakteristik alat pasteurisasi non termal dengan *Pulsed Electric Field* (PEF) melalui pengujian secara teknis dan eksperimental dengan produk susu segar. Teknologi *Pulsed Electric Field* (PEF) pada perancangan ini terdiri dari tiga komponen utama, yaitu: (1) Pembangkit Pulsa Tegangan Tinggi sebagai Pembangkit Pulsa Tegangan Tinggi yang menggunakan transformator tegangan tinggi dan inverter, (2) Tangki bahan dan ruang perlakuan yaitu tempat penampungan air susu sebelum dan sesudah proses pasteurisasi, sekaligus sebagai tempat terjadinya proses pasteurisasi, (3) Kerangka Box. Pengujian dilakukan di Laboratorium Teknik Processing Hasil Pertanian Jurusan Teknik Pertanian, Laboratorium Pengujian Mutu dan Keamanan Pangan (*Test Laboratory of Food Quality and Food Safety*) Jurusan Teknologi Hasil Pertanian Fakultas Teknologi Pertanian, Laboratorium Mikrobiologi Fakultas Kedokteran dan Laboratorium Pengukuran dan Tegangan Tinggi Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang. Hasil pengujian menunjukkan bahwa pembangkit tegangan tinggi yang dirancang dengan menggunakan transformator tegangan tinggi dan inverter menghasilkan tegangan keluaran maksimal 49.48 kV dengan frekuensi keluaran 50 KHz.. Hasil pengujian *Total Plate Count* menunjukkan bahwa terjadi penurunan jumlah mikroorganisme setelah mengalami proses pasteurisasi dengan kejutan listrik sebesar 49.48 kV dalam waktu 270 detik yang mencapai 99.96% serta 99.65% dengan waktu 210 detik, 96.21% dengan waktu 150 detik, serta 86.28% dengan waktu 90 detik, tanpa merubah warna, rasa dan tidak ada kenaikan suhu yang signifikan.

Kata kunci: pasteurisasi, transformator tegangan tinggi, PEF, inaktivasi mikroorganisme

“Electric Milking” the High Voltage-Electric Shock (*Pulsed Electric Field*) For Milk Pasteurization Device Using High Voltage Transformer and Inverter

ABSTRACT

Pulsed Electric Field (PEF) is one of non-thermal food processing methods using high intensity-electric shock, which is applied on liquid substances. The process runs from one microsecond to one millisecond by short pulse under 20-80 kV voltage. Application of such PEF technology has been used for milk pasteurization from microorganism in order to obtain qualified products that have long-term duration for storage and safely to be consumed by the consumers. Objectives of this research are to design and create a milk pasteurization device using *Pulsed Electric Field* (PEF) technology, to find out the main principles in operating such pasteurization device using

PEF, as well as to find out characteristics of such non-thermal pasteurization device using Pulsed Electric Field (PEF) technology through technical and experimental test using fresh milk product. The Pulsed Electric Field (PEF) technology comprises of three main components, such as: (1) High Voltage Pulse Generator uses high voltage transformer and inverter, (2) the substances tank and treatment chamber to collect the milks before and after the pasteurization process, as well as where the pasteurization process occurs, (3) the box frame. Testing was conducted at the Laboratory of Agricultural Yield Processing at the Department of Agricultural Engineering, Testing Laboratory of Food Quality and Food Safety at the Department of Agricultural Yield Technology in Faculty of Agricultural Technology, Microbiology Laboratory of Medical Faculty, Laboratory of Measuring and High Voltage at the Engineering Faculty in Brawijaya University of Malang. Result of the testing showed that high voltage generator, which was designed using high voltage transformer and inverter, could produce the output voltage for about 49,480 Volt and output frequency is about 50 KHz. Result of the Total Plate Count testing showed that the amount of microorganism has been decreased after following the pasteurization process using electric shock under 49.48 kV within 270 seconds that reached 99.96% and 99.65% within 210 seconds, 96.21% within 150 seconds, 86.28% within 90 seconds, without changing the colors, tastes, and there was insignificant temperature increasing.

Key words: pasteurization, high voltage transformer, PEF, microorganism inactivation

PENDAHULUAN

Susu merupakan media pertumbuhan yang sangat baik bagi bakteri dan dapat menjadi sarana potensial bagi penyebaran bakteri patogen yang mudah tercemar kapan dan dimana saja sepanjang penanganannya tidak memperhatikan kebersihan. Pencemaran pada susu terjadi sejak proses pemerahan, dapat berasal dari berbagai sumber seperti kulit sapi, ambing, air, tanah, debu, manusia, peralatan dan udara (Rombaut. 2005). Pada susu yang telah dipanaskan kontaminasi bakteri terjadi karena adanya kontaminasi silang dari peralatan dan air pencuci. Kelompok bakteri koliform digunakan sebagai indikator sanitasi penanganan susu, jika bakteri koliform mengkontaminasi susu maupun bahan pangan dalam jumlah besar akan menimbulkan gangguan kesehatan pada manusia, sehingga Standar Nasional Indonesia (SNI) Tahun 2000 telah menetapkan Batas Maksimum Cemarkan Mikroba dalam susu segar dan susu pasteurisasi, untuk jumlah bakteri total pada susu segar 1×10^6 dan untuk susu pasteurisasi $<3 \times 10^4$, koliform pada susu segar 2×10^1 MPN/gram dan $<0,1 \times 10^1$ MPN/gram untuk susu pasteurisasi.

Adanya bakteri patogen mengakibatkan pula kerusakan yang tidak diinginkan sehingga susu menjadi tidak layak untuk dikonsumsi. Pencegahan kerusakan dan adanya bakteri patogen pada susu dapat dilakukan dengan penanganan melalui proses pemanasan. Proses utama yang banyak dipakai dalam pengolahan susu adalah metode *thermal*. Metode *thermal* yaitu suatu proses pengolahan pangan konvensional dengan menggunakan pemanasan antara 60°C-100°C diantaranya adalah proses pasteurisasi. Proses ini digunakan untuk memperpanjang umur simpan dengan menginaktifkan enzim dan menekan jumlah mikroorganisme di dalam susu. Seiring dengan perkembangan teknologi, proses ini dipandang sudah tidak efektif lagi karena mempunyai dampak negatif seperti, melarutnya mineral, kalsium dan fosfor, kerusakan whey protein, rendahnya daya tegang *curd*, berkurangnya kadar CO₂, berubahnya keseimbangan ion hidrogen dan berkurangnya pembentukan krim (Buckle *et al.*, 2007).

Pengolahan makanan menggunakan metode *thermal* memiliki banyak dampak negatif, maka diperlukan alternatif menggantikan pengolahan secara konvensional dengan metode pengolahan *non thermal*. Salah satu metode *non thermal* yang sedang dikembangkan adalah menggunakan kejutan listrik tegangan tinggi (*Pulsed Electric Field/PEF*). PEF adalah proses pengolahan bahan pangan yang didasarkan pada aplikasi denyut pendek pada tegangan tinggi (20-80 kV/cm) ke bahan makanan pada suhu kamar atau di bawahnya selama beberapa detik untuk memperkecil kerusakan yang disebabkan oleh pemanasan. Metode ini sangat efektif

karena dapat menginaktifkan mikroorganisme sampai 95 % tanpa mengubah warna, bau, dan kandungan gizi dalam waktu yang sangat singkat (Barbosa *et al.*, 1997).

Metode pengolahan *non thermal* dinilai lebih efektif, ekonomis dan efisien tanpa mengubah warna, bau dan kandungan gizi produk olahan. Penelitian terkait dengan aplikasi metode PEF dalam susu diperlukan guna memberikan penjelasan ilmiah mengenai rancang bangun mesin pasteurisasi susu secara kontinyu berbasis Teknologi Tegangan Tinggi (*Pulsed Elektrik Field*) yang ekonomis dan efisien dengan menggunakan pembangkit pulsa tegangan tinggi dari komponen trafo tegangan tinggi dan inverter yang menghasilkan tegangan maksimal mencapai 50 kV.

METODE PENELITIAN

Alat dan Bahan

Bahan yang digunakan adalah susu segar yang diambil dari desa binaan Brau Kota Batu.

Alat dan Bahan Pembuatan Pembangkit Tegangan Tinggi

- a. Alat untuk pembuatan pembangkit tegangan tinggi antara lain:
 - Solder
 - Volt meter
 - Tang, obeng dan lain-lain
- b. Bahan yang digunakan untuk pembuatan pembangkit tegangan tinggi antara lain:
 - PCB
 - Kabel
 - Komponen elektronika yaitu beberapa resistor, kapasitor, dioda, trafo dan transistor.
 - Transformator flyback.

Alat dan bahan untuk Pembuatan Mesin Pasteurisasi

- a. Alat yang digunakan
 - Perlengkapan pertukangan seperti palu, tang, obeng, gergaji, penggaris dan cutter.
- b. Bahan yang digunakan
 - Mika 8mm dan 9mm
 - Lem PVC dan Silicon
 - Kayu dan paku
 - Pipa 0.5 inci dan stop kran.

Alat Dan Bahan Pengujian Alat

- a. Pengujian Teknis
 1. Voltmeter pengukuran tegangan rendah
 2. Sela Bola untuk mengukur tegangan tinggi
 3. Termometer untuk mengukur suhu
 4. Gelas ukur untuk mengukur volume bahan
- b. Pengujian jumlah mikroorganisme

Bahan yang digunakan untuk analisa TPC adalah media PCA, adapun untuk analisa koliform menggunakan media URBA dan analisa mikroba pembentuk spora dengan media NA. Sedangkan Peralatan yang digunakan antara lain kertas payung, kasa steril, Air Suling, Alkohol 70%, Spiritus, Autoclave, Erlenmeyer, Gelas Piala, Pengaduk, Kompor Listrik, Termometer, Unit Sterilisasi Listrik, Inkubator, Busen, Labu Ukur, Vortex, Water Bath, Pipet volume, Cawan petri, tabung reaksi, erlenmeyer, gelas piala, inkubato, busen, Colony Counter.

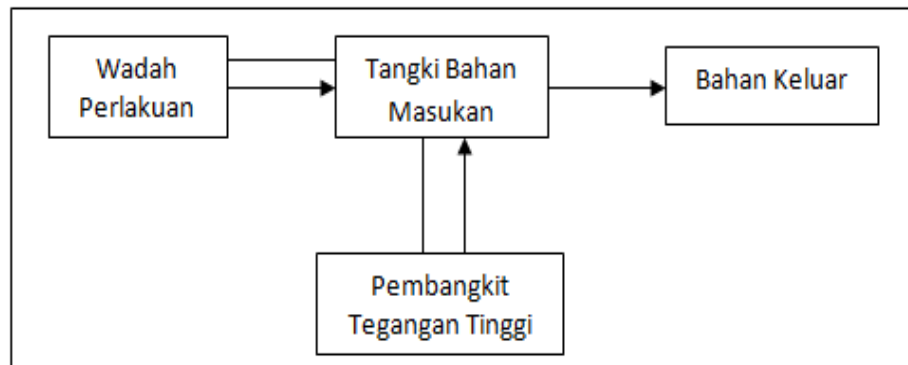
Metode Penelitian

Rancangan sistem PEF terdiri dari Rancangan Fungsional dan Struktural.

Rancangan Fungsional

Rancangan alat pasteurisasi susu terdiri dari tiga komponen utama, yaitu: (1) Pembangkit tegangan tinggi; (2) Tangki Bahan (*Food tank*) merangkap Ruang Perlakuan (*Treatment Chamber*) dan (4) Kotak box kerangka.

Rancangan Struktural



Gambar 1. Skema Kerja Mesin Pasteurisasi PEF

Rancangan struktural rancang bangun mesin pasteurisasi susu dengan tegangan tinggi yang terdiri dari *food tank*, *treatment chamber*, pembangkit Tegangan Tinggi.

Pengamatan dan Analisis Data

Pengujian alat dilakukan untuk menilai tingkat keberhasilan perancangan mesin Pasteurisasi dengan sistem kejut tegangan tinggi dengan mengukur besar tegangan masukan dan keluaran dari Pembangkit Tegangan Tinggi, frekwensi Pembangkit Tegangan Tinggi, suhu pada *treatment chamber* dan jumlah mikroorganisme dalam susu sebelum dan sesudah proses kemudian Hasil Pengujian Mikroorganisme dibandingkan dengan penelitian pasteurisasi secara termal.

Pengukuran Tegangan Keluaran diukur dengan mengatur besar tegangan masukan. Pengukuran tegangan keluaran dengan menggunakan metode sela bola yang kemudian hasil dari pengukuran dihitung dengan persamaan untuk mendapatkan hasil yang akurat, karena pada pengukuran sela bola masih dipengaruhi oleh faktor lingkungan yaitu suhu ruangan dan tekanan.

$$U'd_{hitung} = \frac{b}{1013} + \frac{273}{273+v} + U'do$$

Dimana: $U'dh$ = tegangan hitung (kV)

$U'du$ = tegangan ukur (kV)

b = tekanan (mbar)

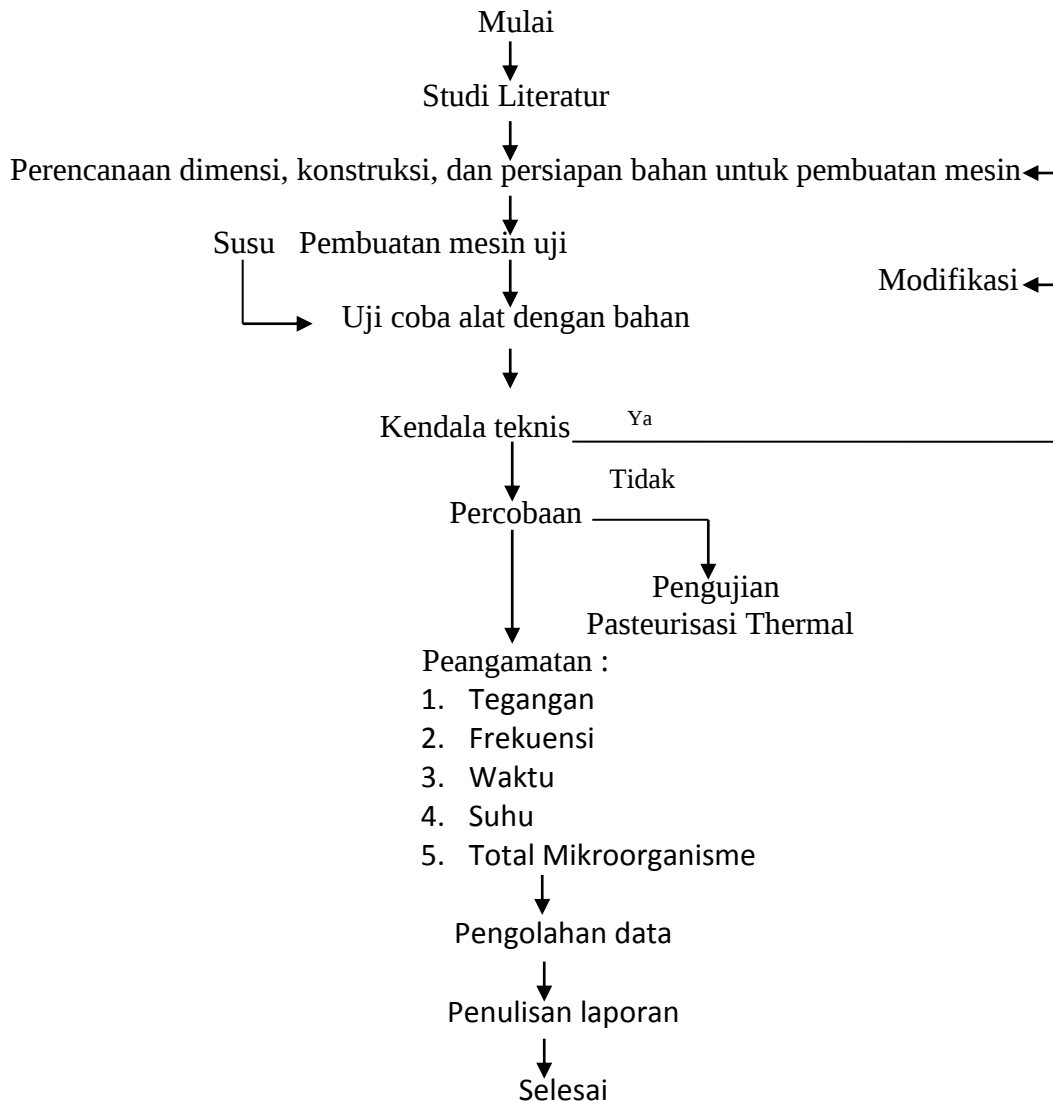
v = suhu ($^{\circ}C$)

Sedangkan frekwensi diukur dengan menggunakan osiloskop tetapi tidak dihubungkan secara langsung dengan kabel karena tegangan keluaran dan juga efek radiasi pembangkit tegangan tinggi dapat menyebabkan kerusakan pada osiloskop, sehingga pada proses pengukuran digunakan penangkap sinyal untuk mengukur frekwensinya.

$$f = \frac{1}{T}$$

dimana : F = Frekuensi
T = Periode

Prosedur Pengujian Mesin Pasteurisasi Berdasarkan Jumlah Mikroorganisme



Gambar 2. Diagram Alir Penelitian

Pengujian jumlah mikroorganisme dilakukan untuk mengetahui tingkat keberhasilan mesin pasteurisasi keju dengan tegangan tinggi dalam menginaktivasi mikroorganisme. Pengujian dilakukan dengan metode cawan dengan langkah pengujian sebagai berikut.

a. Hitungan Cawan Metode Tuang

- Larutkan media dan peptone dengan aquades sesuai dengan aturan pengencerannya
- Dipanaskan hingga semua media melarut
- Sterilisasi pada *autoclave* suhu 121 °C selama 15 menit
- 1 ml sampel diambil, dimasukkan dalam tabung reaksi yang berisi 9 ml larutan pepton steril (pengenceran 10-1), begitu seterusnya hingga pengenceran yang diinginkan

- Mengambil 1 ml sampel dari hasil tiga pengenceran terakhir dan masing-masing dituang dalam cawan petri steril, kemudian tuang media steril (10- 15 ml) sampai dasar cawan tertutup media. Tiap media pengenceran dibuat dengan 2 contoh
 - Setelah media membeku, cawan petri dibalik dan diinkubasi pada suhu 37°C selama $\pm$ 2 hari
 - Mikroba yang tumbuh dihitung dengan *colony counter*
- b. Perhitungan Dengan Metode *Standart Plate Count* (SPC)
- Cawan yang dipilih dan dihitung adalah yang mengandung jumlah koloni antara 30-300
 - Beberapa koloni yang bergabung menjadi satu merupakan satu kumpulan koloni yang besar dimana jumlah koloninya diragukan dapat dihitung sebagai 1 koloni
 - Satu deretan koloni yang terlihat sebagai satu garis tebal dihitung sebagai 1 koloni
 - Perhitungan: Koloni per ml atau per gram = jumlah koloni per cawan x 1/faktor pengenceran

HASIL DAN PEMBAHASAN

Sesuai dengan pendekatan desain yang dijadikan landasan teoritik, rancang bangun mesin pasteurisasi susu berbasis Teknologi *Pulsed Electric Field* (PEF) terdiri dari tiga komponen utama, yaitu: (1) Pembangkit Pulsa Tegangan Tinggi sebagai pembangkit pulsa tegangan tinggi yang menggunakan trafo tegangan tinggi dan inverter untuk menaikkan tegangan sampai 49.48 kV (2) Tangki Bahan (*Food tank*) sebagai tempat penampungan air susu sekaligus sebagai Ruang Perlakuan (*Treatment Chamber*) tempat terjadinya proses pasteurisasi dan (4) kerangka box.

Pembangkit Pulsa Tegangan Tinggi Menggunakan Trafo Tegangan Tinggi dan Inverter

Prinsip dasar pembangkit pulsa tegangan tinggi ini hampir sama dengan rangkaian penguat Horizontal pada televisi hitam putih dengan menggunakan IC UPC 1379C dan menggunakan double transformator Flyback untuk menaikkan tegangan sampai 49.48 kV.

Pembangkit pulsa tegangan tinggi ini mempunyai dua buah sinyal yaitu triger dan power supply DC yang dihubungkan ke sisi tegangan rendah trafo tegangan tinggi. Sedangkan pada sisi tegangan tinggi menghasilkan output tegangan DC secara periodik, tegangan keluaran inilah yang nantinya digunakan untuk proses pasteurisasi.

Secara garis besar perancangan pembangkit pulsa tegangan tinggi terdiri atas tiga rangkaian:

a. Rangkaian Penyearah

Rangkaian ini diperlukan untuk memberikan catu daya DC terhadap komponen-komponen elektronik dalam satu sistem. Rangkaian penyearah ini diharapkan dapat menyediakan catu daya DC yang stabil. (Malvino.1998)

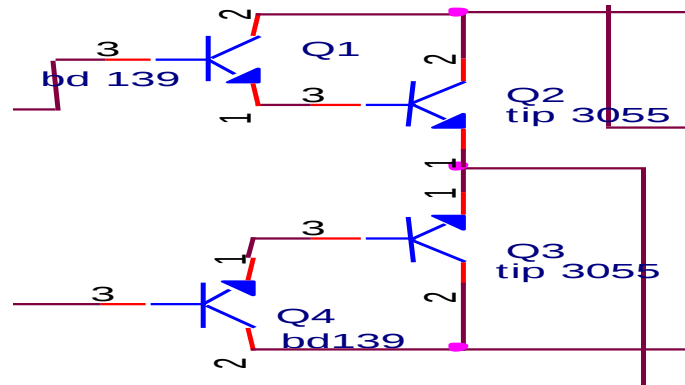
Pada pembangkit pulsa tegangan tinggi rangkaian catu daya penyearah mempunyai tegangan keluaran ditapping masing-masing 18 Volt, 25 Volt, 42 Volt, 50 Volt, 60 Volt Dan 70 Volt yang berasal dari trafo 5 Ampere dengan tegangan masukan PLN 220 volt.

b. Rangkaian Pembangkit Pulsa (*Oscillator*)

Rangkaian ini berupa rangkaian pembangkit pulsa dengan frekuensi kerja 50 KHz yang memakai IC CD4047B sebagai timernya. Arus dari rangkaian penyearah masuk melalui input IC CD4047B kemudian dikeluarkan dalam bentuk pulsa. Terdapat 2 output pada IC ini, pertama

output yang diteruskan ke rangkaian driver untuk mengalami penguatan, dan output yang dikenakan terhadap inverter untuk membalikkan nilai pulsa

c. Rangkaian Kemudi (Driver)



Gambar 3. Rangkaian Driver

Rangkaian kemudi digunakan untuk memperkuat arus keluaran dari rangkaian oscillator untuk membangkitkan tegangan tinggi flyback. Pada rangkaian pembangkit pulsa tegangan tinggi ini menggunakan transistor bd 139 dan tip 3055 sebagai driver dengan susunan seperti pada gambar di atas

d. Transformator Tegangan Tinggi

Transformator Flyback berkerja berdasarkan prinsip transformator pada umumnya. memiliki belitan primer yang jumlahnya satuan dan sekunder yang jumlahnya puluhan ribu yang biasa digunakan untuk operasi frekwensi tinggi.

Tegangan yang digunakan pada bagian primer hampir selalu berbentuk kotak (rectangular) dengan arus yang mengalir pada kedua sisi flyback tranformer yang naik turun dalam berbentuk gergaji.

Flyback yang digunakan pada rangkaian ini adalah tipe 154-164E yang biasa digunakan untuk televisi monochrom. Tegangan keluaran yang dihasilkan flyback ini mencapai 49.48 kV dengan frekwensi 50 kHz.

e. Rangkaian Inverter

Rangkaian inverter DC ke AC adalah didasarkan dari kerja astable multivibrator. Dalam rangkaian ini dipilih IC CD4047 sebagai jantung astable multivibrator karena jenis IC ini sudah memberikan tegangan output yang saling berlawanan fasanya. Supaya arus keluaran dari multivibrator ini cukup besar untuk membangkitkan tegangan AC dengan daya yang besar pula, maka diperlukan rangkaian pensaklaran yang dalam rangkaian ini diperankan oleh mosfet IRFZ44. Arus keluaran dari IRFZ44 diumpankan ke trafo tegangan tinggi, sehingga akan diperoleh tegangan yang cukup besar pada keluarannya.

f. Rangkaian Penguat Tegangan

Rangkaian penguat tegangan digunakan untuk memperkuat tegangan keluaran dari trafo tegangan tinggi. Rangkaian penguat tegangan ini terdiri dari kapasitor bertipe NA dan kapasitor bertipe NP, serta dibutuhkan diode bertipe 1 N 4007. Tegangan keluaran yang dihasilkan oleh rangkaian penguat tegangan adalah 48.49 kV yang akan digunakan untuk pasteurisasi susu.

Prinsip Kerja Alat

Sumber tegangan AC masuk ke rangkaian penyearah DC serta digunakan trafo 5A untuk mencatu rangkaian oscilator dan rangkaian *driver*. Rangkaian oscilator dan *driver* ini akan berpengaruh terhadap waktu pensaklaran pada multivibrator dan penguatan arus agar transistor tersebut dapat beroperasi. Frekuensi yang dihasilkan oscilator ini adalah 50 KHz. Terdapat 2 *output* pada oscilator ini, pertama *output* yang mengalami penguatan pada rangkaian *driver* dan yang ke-dua adalah *output* yang akan dikenakan terhadap rangkaian inverter yang digunakan untuk membalikkan nilai *output* dari oscilator yang tadinya negatif menjadi positif agar terbentuk gelombang bipolar yang dapat membunuh bakteri.

Rangkaian penyearah dengan nilai *output* yang mencapai 70 Volt, 5A dikopel dengan rangkaian switching transistor dihubungkan ke sisi tegangan rendah dari trafo tegangan tinggi untuk membangkitkan induksi agar menimbulkan *output* tegangan tinggi, rangkaian catu daya ini ditapping pada sisi inputnya menjadi 18 Volt, 25 Volt, 42 Volt, 50 Volt, 60 Volt Dan 70 Volt. sehingga mampu menghasilkan tegangan tinggi dengan keluaran maksimal mencapai 50 kV.

Tangki Bahan dan Wadah Perlakuan

Tangki bahan berbentuk tabung yang terbuat dari *stainless steel* 316. Diameter tangki adalah 25 cm dan dilengkapi penutup yang terhubung dengan elektroda dengan panjang 40 cm. Pada mesin pasteurisasi ini terdapat sebuah tangki bahan untuk menampung bahan sekaligus sebagai wadah perlakuan. Wadah perlakuan adalah tempat berlangsungnya proses pasteurisasi dengan tegangan tinggi dalam waktu yang telah diatur. Bahan wadah perlakuan terbuat pipa *stainless steel* 316 yang aman untuk makanan (*food grade*), bahan *stainless steel* aman dipakai karena, mudah dibentuk dan tahan terhadap korosi.

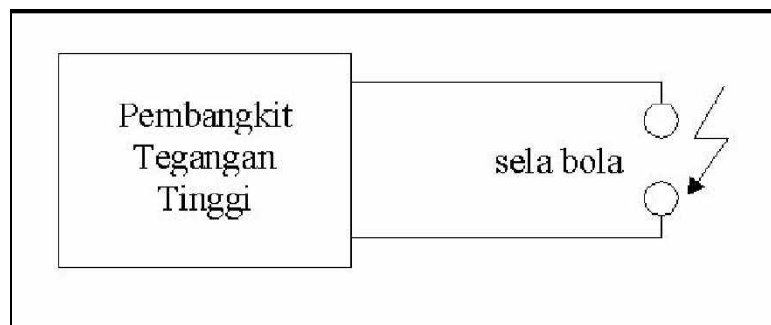
Pada bagian tengah alat ini terdapat kawat *stainless steel* dengan panjang 40 cm yang berfungsi sebagai penghantar listrik bertegangan tinggi ke susu, pada bagian ini aliran listrik bertegangan tinggi ditembakkan yang kemudian terjadi efek medan listrik yang akan membunuh mikroorganisme.

Kerangka Box

Kerangka *box* dibuat dengan bahan *stainless steel* 304 pada masing-masing sisinya dengan tutup *box* yang dilapisi dengan akrilik sebagai isolator. Memiliki dimensi 45 cm x 45 cm x 70 cm. Dipilih bahan demikian karena, mudah didapatkan, kuat dan ekonomis.

Hasil Pengujian Tegangan

Pengujian tegangan rangkaian ini dibagi menjadi dua yaitu tegangan masukan dan tegangan keluaran. Tegangan masukan yang diukur adalah tegangan keluaran rangkaian penyearah yang telah ditapping. Sedangkan tegangan keluaran yang diukur adalah tegangan akhir yang dikeluarkan oleh transformator flyback.



Gambar 4. Skema Pengukuran dengan Sela Bola

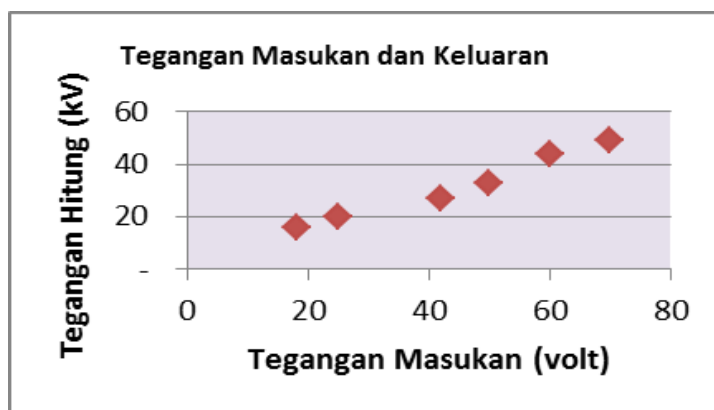
Sumber: Perancangan (Zuhal, 1991)

Pengukuran tegangan masukan dilakukan dengan menggunakan voltmeter dengan menghubungkan kutub positif dan negatif rangkaian penyearah, sedangkan pada pengukuran tegangan keluaran flyback menggunakan metode Sela Bola yang dilakukan di Laboratorium Pengukuran dan Tegangan Tinggi Teknik Elektro Universitas Brawijaya. Pengukuran tegangan keluaran dilakukan dengan tegangan masukan yang berbeda sehingga didapatkan hasil sebagai berikut:

Tabel 1. Hasil Pengukuran Tegangan

<i>Tegangan Masukan(Volt)</i>	<i>Tegangan ukur (kV)</i>	<i>Tegangan Hitung (kV)</i>
18	18	16.49521079
25	22	20.16081319
42	30	27.49201798
50	36	32.99042158
60	48	43.98722877
70	54	49.48563237

Dari pengukuran diatas dapat dilihat bahwa semakin besar tegangan input maka semakin besar pula tegangan output yang dihasilkan, sehingga dapat digambarkan sebagai berikut:



Gambar 5. Hubungan Tegangan Masukan dan Tegangan Keluaran

Pengujian Frekwensi

Pengujian frekwensi dilakukan dengan menggunakan Osiloskop. Periode gelombang dan tegangan oscilator menunjukkan bahnwa sinyal keluaran dari pembangkit tegangan tinggi berbentuk gergaji.

Garis mendatar pada osiloscop menunjukkan besarnya periode gelombang (T) sedangkan pada garis vertikal menunjukkan besarnya tegangan. Frekwensi (f) diperoleh dengan menggunakan persamaan dimana periode yang besar akan menghasilkan frekwensi yang kecil dan sebaliknya.

Pada pembangkit tegangan Tinggi yang diukur dengan osiloscop didapatkan besar frekwensi sekitar 50 kHz dengan besar periodenya 20 μ s.

Pengaruh suhu

Dari hasil pengukuran suhu selama penelitian terjadi kenaikan suhu antara 2 – 3 °C dengan suhu maksimal terdapat pada pasteurisasi pada tegangan 49.48 kV yaitu 23°C. Kemungkinan hal ini bukan karena pengaruh proses sterilisasi melainkan karena pengaruh perbedaan temperatur bahan dengan lingkungan sehingga panas dari lingkungan diserap oleh susu pada saat bahan dipasteurisasi.

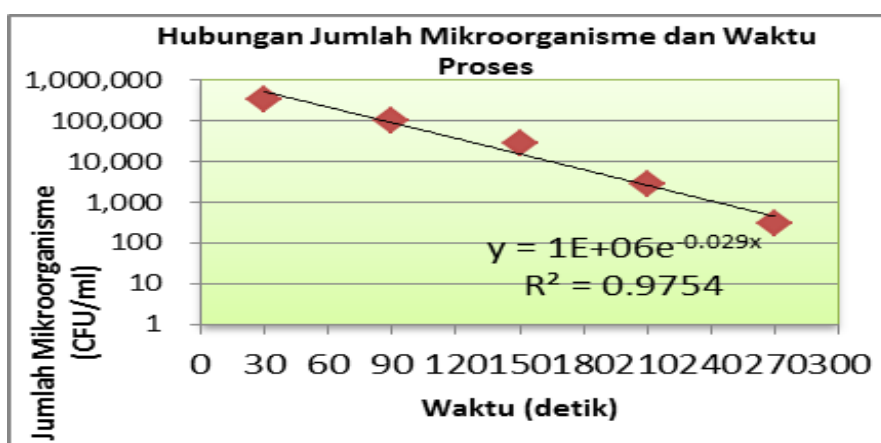
Hal ini didukung oleh pernyataan Barbosa *et al.*, (2000), bahwa proses *Pulsed Electric Field* (PEF) didasarkan pada aplikasi denyut pendek pada tegangan tinggi (20-80 kV/cm) ke makanan yang ditempatkan diantara 2 elektroda. PEF dikategorikan suatu proses non thermal karena makanan diproses pada suhu kamar atau di bawahnya selama beberapa detik dan mampu memperkecil kehilangan nutrisi yang disebabkan oleh pemanasan.

Tabel 5. Hasil Pengukuran Suhu

No.	Tegangan perlakuan (kV)	Suhu(°C)	
		Masuk	Keluar
1	0	18	-
2	27.49	18	20
3	32.99	19	21
4	43.98	20	23
5	49.48	20	23

Pengujian Jumlah Total Mikroba

Pengujian jumlah total mikroorganisme dilakukan pada tegangan maksimal yang bias dihasilkan oleh pembangkit tegangan tinggi yaitu 49,48 kV dengan variasi waktu yang berbeda. Jumlah total mikroorganisme susu segar sebagai bahan uji awal sebelum dipasteurisasi berkisar antara $7,8 \times 10^5$ cfu/ml. Sedangkan total mikroba setelah perlakuan kejut medan listrik selama 30 detik terjadi penurunan sebesar 56.41% menjadi 3.4×10^5 cfu/ml, pada waktu 90 detik terjadi penurunan sebesar 86.28% menjadi 1.07×10^5 cfu/ml, pada waktu 150 detik terjadi penurunan sebesar 96.21% menjadi 2.96×10^4 cfu/ml dan pada waktu 210 detik terjadi penurunan sebesar 99.65% menjadi 2.7×10^3 cfu/ml, terakhir pada waktu 270 detik terjadi penurunan sebesar 99,96 % menjadi 3.09×10^2 yang bisa digambarkan dalam grafik semilogaritmik sebagai berikut.



Gambar 6. Pengaruh Tegangan Terhadap Jumlah Mikroorganisme Produk

Semakin besar tegangan listrik yang digunakan dalam proses pasteurisasi maka semakin besar pula penurunan jumlah mikroorganisme. Hal ini seperti yang dijabarkan oleh barbosa

bahwa besar penurunan mikroorganisme berbanding lurus dengan besar tegangan, jumlah pulsa dan waktu pasteurisasi.

Data diatas memberikan gambaran bahwa pemberian kejutan listrik tegangan tinggi pada susu dapat menyebabkan terjadinya penurunan jumlah mikroorganisme tanpa adanya efek panas. Hal ini disebabkan karena adanya peningkatan aktivitas metabolisme yang terlalu tajam sehingga mengganggu kerja dan fungsi fisiologis mikroba.

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).

Proses kejutan listrik diduga menyebabkan terjadinya ionisasi beberapa garam-garam seperti Mg^{2+} dan Ca^{2+} yang terikat pada dinding sel ataupun yang membentuk bufer fosfat dimana tingkat sensitivitas terhadap kejutan listrik lebih besar. Adanya garam-garam bebas ini menyebabkan konduktivitas listrik meningkat sehingga kekuatan energi listrik akan semakin besar. Pernyataan ini sesuai dengan keterangan Speer (1998), bahwa konduktivitas listrik susu akan meningkat dengan peningkatan jumlah ion natrium dan Kalsium.

Pengaliran listrik dengan media yang kaya akan nutrisi atau protein menyebabkan terjadinya penurunan nilai efektivitas kematian dari mikroba yang terkandung yang ditandai dengan terjadinya koagulasi protein pada elektroda dengan semakin lama kejutan listrik. Semakin tinggi tingkat koagulasi akan sebanding dengan tingkat kematian dari mikroba. (Gould *et al.*, 1995).

Pada pengujian mesin pasteurisasi ini tidak terjadi koagulasi dan gelembung seperti yang dijelaskan oleh dalam Gould (1995). Fakta ini kemungkinan disebabkan karena proses yang digunakan pada perancangan mesin pasteurisasi menggunakan wadah perlakuan kontinyu. Selain itu waktu kontak bahan dengan plat stainless steel sangat singkat kurang lebih hanya 1 detik sehingga tidak terjadi koagulasi.

Bakteri yang dapat mati mengalami inaktivasi karena proses pasteurisasi dengan metode sistem kejutan tegangan tinggi antara lain: *E. Coli*, *Micrococcus lysodieticus*, *sarcina lutea*, *Bacillus Subtilis*, *Bacillus Cereus*, *Bacillus Megaterium*, *Clostridium welchi*, *Saccharomyces cerevisiae* dan *Candida Utilitis*.

Perbandingan dengan Pasteurisasi Thermal.

Menurut Rihastuti (2007), pasteurisasi dilakukan sampai suhu susu mencapai 75 °C dan selama kurang lebih 20 menit. Jumlah bakteri pada susu pasteurisasi menurun dibandingkan dengan susu segar sebagai bahan dasar, yakni menjadi 26000 CFU/ml.

KESIMPULAN

Diantara kesimpulan penting yang dapat diambil dari penelitian ini adalah mesin pasteurisasi susu berbasis teknologi *Pulsed electric Field* (PEF) terdiri atas tiga komponen utama, yaitu : pembangkit pulsa tegangan tinggi, tangki bahan yang merangkap sebagai wadah perlakuan dan kerangka *box*. Sedangkan rangkaian pembangkit tegangan tinggi terdiri dari tujuh rangkaian dasar antara lain: rangkaian penyearah, rangkaian oscilator, rangkaian driver, transformator tegangan tinggi, Inverter, rectifier, dan rangkaian penguat tegangan. Dalam aplikasinya semakin lama penerapan kejutan listrik pada susu, akan sebanding dengan tingkat efektifitas penurunan jumlah mikroba. Dengan demikian metoda pasteurisasi dengan sistem PEF mampu mengurangi jumlah mikroba sesuai dengan SNI susu segar tahun 2000

DAFTAR PUSTAKA

- Albert,B. Bray,D,Lewis, J.Raff, M.Robert,K and James. 1994. *Biologi Molekuler* Sel. PT Gramedia Pustaka utama : Jakarta.
- Andriawan, Veri 2011. *103 Inovasi Indonesia*. Bussines Inovation Center, Jakarta
- Apriliawan, Hadi 2010. *Laban Electric Alat Pateurisasi Susu Kejut Listrik Tegangan Tinggi (Pulsed Electric Field) Menggunakan Flyback Transformer*. Universitas Brawijaya. Malang.
- Barbosa. Canovas,G.B Pothakamury,E. Palau and B.G. Swanson, 1997. *Non Thermal Preservation Of Food*. Marcel dekker : New York.
- Buckle. K.A., Edward. R.A., Fleet G.H. dan Wooton. M., 2007. *Ilmu Pangan*. Universitas Indonesia Press : Jakarta.
- Gould, GW. 1995. *New Methodes Foods Preservatief*. Chapman Hall : New York.
- Malvino, P. 1998. *Aproksimasi Rangkaian Semikonduktor*. Erlangga : Jakarta.
- Rombaut. 2005. *Penanganan Pencemaran Hasil Ternak Susu Perah*. Departemen Ilmu Produksi Ternak. Bagian Ilmu Produksi Ternak Perah Fakultas Peternakan, IPB : Bogor.
- Speer. 1998. *Milk and Pruduct Technologi*. Marcel Dekker : New York.
- Zuhal. 1991. *Rangkaian Listrik*. Fakultas Teknik Elektro. Universitas Brawijaya : Malang.