

PERANCANGAN PEMBANGKIT TEGANGAN TINGGI IMSPULS UNTUK MENGURANGI JUMLAH BAKTERI PADA CAIRAN SUSU PERAH

Irpan Logitra Purba^{*)}, Mochammad Facta, and Abdul Syakur

Jurusan Teknik Elektro, Universitas Diponegoro Semarang
Jl. Prof. Sudharto, SH, kampus UNDIP Tembalang, Semarang 50275, Indonesia

^{*)} Email : Purbaginting725@gmail.com

Abstrak

Susu merupakan salah satu bahan makanan yang dibutuhkan oleh tubuh. Susu memiliki gizi yang tinggi karena mengandung protein, lemak, vitamin, mineral dan laktosa serta enzim-enzim. Salah satu metode yang digunakan untuk sterilisasi susu yaitu dengan menggunakan metode Ultra High Temperature (UHT). Susu disterilkan menggunakan Ultra High Temperature (UHT) yaitu dengan suhu berkisar 135⁰-145⁰ Celcius. Tegangan tinggi impuls dibuat menggunakan cuk converter dan flyback converter akan diterapkan pada reaktor yang memiliki elektroda tidak seragam jarum (tembaga)-plat (stainless steel) yang saling berhadapan. Hasil dari pengujian menunjukkan alat dapat menghasilkan tegangan tinggi impuls 3 sampai 7 kV. Energi yang dikonsumsi alat ini yaitu sangat kecil 42 watt/detik, tegangan yang dibutuhkan untuk menghasilkan tegangan tinggi tidak memerlukan tegangan yang besar tetapi hanya membutuhkan tegangan rendah dan pada penelitian ini menggunakan tegangan maksimal 45 volt untuk mendapatkan tegangan tinggi 7 kV, variasi tegangan inputan yang digunakan untuk flyback converter diatur dengan cuk converter yaitu 10,70 volt, 16,96 volt, 20,30 volt, 26,61 volt, 32,055 volt dengan masing-masing duty cycle 20%, 27%, 31%, 37%, dan 42%. Tegangan tinggi yang dihasilkan 3,76 kV, 4 kV, 5,20 kV, 6 kV dan 7,40 kV. Tegangan tinggi yang dihasilkan mampu mengurangi jumlah bakteri dalam susu perah dan masih sesuai dengan standar SNI 2000 tentang jumlah bakteri di dalam susu.

Kata Kunci : UHT, sterilisasi susu, tegangan tinggi impuls,

Abstract

Milk is one of the liquid food needed by our body and it has a high nutrient because it contains protein, fat, vitamins, minerals and lactose. One of the methods to sterilize milk is Ultra High Temperature (UHT), however the UHT carried out in the interval 135⁰-145⁰ Celcius, can decrease the quality of milk... The high voltage impulses are created using a cuk converter and flyback converter that will be applied to the reactor. The reactor has no uniform electrical field where the electrodes are constructed from copper needle - stainless steel. Results of the test show that the equipment has the capability to generate high voltage impulses 3 and 7 kV and frequency from 4 and 7 kHz. The energy consumed by this equipment circuit is small, normally 42 watt/s and it doesn't need high voltage to generate 7 kV. Variation in input voltage for the flyback converter is set by the cuk converter, through 10,70 volt, 16,96 volt, 20,30 volt, 26,61 volt, 32,55 volt with each duty cycle 20%, 27%, 31%, 37% and 42%. The high voltage output during sterilization are 3,76 kV, 4 kV, 5,20 kV, 6 kV and 7,40 kV. The proposed circuit can reduce bacterial population in pure milk below the referenced standard SNI 2000.

Keyword : UHT, sterilization of milk, high voltage impulses

1. Pendahuluan

Proses dengan metode pemanasan, seperti *pasterisasi* umumnya digunakan pada industri makanan untuk menjaga daya tahan makanan dan menjaga makanan tetap aman dari pembusukan dan dari mikroorganisme. Walaupun metode dengan proses pemanasan menjadikan makanan tetap aman, tetapi tidak terhadap rasa, warna, aroma dan nutrisi yang terkandung dalam makanan. Saat ini dengan meningkatnya permintaan konsumen untuk

makanan segar walaupun makanan diproduksi dengan suatu proses tertentu, yaitu memproses makanan menggunakan pengawetan makanan dengan proses tanpa pemanasan atau *non-thermal processes*.

Industri makanan sekarang ini sudah meneliti beberapa teknik *pasteurisasi* yang menjanjikan, sebagai contoh pemanfaatan pulsa medan listrik atau *Pulsed Electric Field* (PEF), osilasi pulsa medan listrik, induksi medan

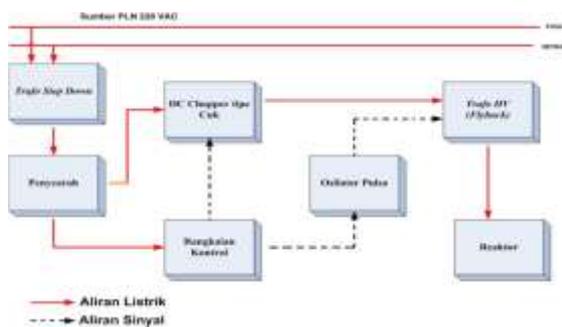
elektromagnetik, *hydrostatic* bertekanan tinggi, radiasi ionisasi elektron dan lain sebagainya.

Pulsa medan listrik dengan intensitas tinggi menjadi alternatif yang menjanjikan untuk proses *pasteurisasi* seperti makanan cair, termasuk susu dan produk susu yang lain (yogurt). Pulsa medan listrik (PEF) dengan intensitas tinggi menggunakan metode pulsa tegangan tinggi dengan periode waktu yang singkat dengan penempatan makanan cair diantara dua elektroda, teknologi PEF lebih baik dari metode pemanasan pada makanan cair karena dapat menonaktifkan mikroba pada jumlah yang besar, mencegah atau menurunkan penyebab makanan menjadi rusak.

2. Metode

2.1 Perancangan Perangkat Keras

Perancangan pulsa medan listrik untuk sterilisasi susu ini terdiri atas sumber AC 220 V, catu daya, trafo *step down*, rangkaian kontrol, *dc Chopper* tipe *cuk converter*, trafo driver, trafo *flyback*, reaktor atau aplikasi. Blok diagramnya ditunjukkan pada Gambar 1 dibawah ini :



Gambar 1 Blok Diagram Alir Tahap Perancangan Perangkat Keras

2.2 Suplai AC Satu Fasa

Sumber tegangan yang digunakan yaitu tegangan yang bersumber pada jala-jala PLN atau sering dikatakan sebagai tegangan bolak-balik dengan tegangan 220 Volt dan frekuensi 50 Hz. Dan diturunkan menjadi 32 volt dengan trafo CT *step down*.

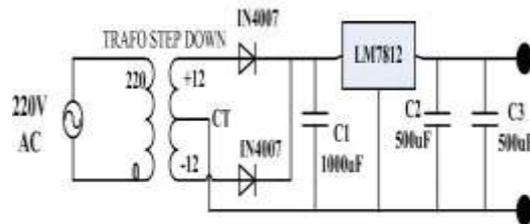
2.3 Perancangan Penyearah (*Rectifier*)

Penyearah (*Rectifier*) berfungsi untuk mengubah tegangan bolak-balik (AC) menjadi tegangan searah (DC). Pada penelitian ini, penyearah ini berfungsi sebagai penyedia suplai tegangan DC untuk rangkaian *dc chopper* dan untuk rangkaian kontrol. Untuk suplai rangkaian kontrol, baik kontrol *inverter* maupun kontrol *chopper* diperlukan +12 Vdc tetapi sebagai inputan *dc chopper* tipe *cuk converter* tegangan jala-jala dari PLN 220 Volt diturunkan menjadi 32VAC dengan trafo CT dan

disearahkan menggunakan 2 dioda pada trafo CT dengan filter kapasitor

2.3.1 Perancangan Penyearah Rangkaian Kontrol

Penyearah rangkaian kontrol digunakan penyearah gelombang penuh dengan trafo *center tap*. Pada penyearah ini digunakan dua diode untuk menyerahkan hasil keluaran dari trafo *center tap*

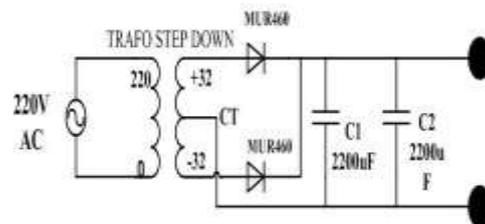


Gambar 2 Penyearah menggunakan 2 buah dioda dengan *center tap*

Tegangan 12 VAC ketika disearahkan akan menjadi lebih besar yaitu 16,97 VDC. tetapi rangkaian kontrol membutuhkan tegangan masukan sebesar 12 V untuk power suplai IC 4047 sebagai input MOSFET *driver*. Untuk menjaga tegangan VDC tetap stabil ± 12 Volt maka hasil keluaran dioda diberikan regulator LM7812 untuk meregulasi tegangan dari 16,97 V menjadi 12 V.

2.3.2 Perancangan Penyearah Rangkaian Daya

Pada penyearah rangkaian daya ini menggunakan penyearah gelombang penuh *center tap*. sama seperti subbab 2.3.1 tetapi berbeda pada tegangan inputan.



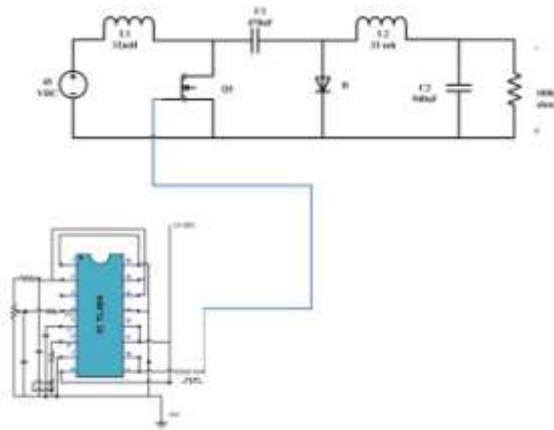
Gambar 3 Penyearah Rangkaian daya

Sumber tegangan AC langsung dari jala-jala PLN 220VAC/50Hz diturunkan menjadi 32 VAC maka agar gelombang DC memiliki keluaran DC sempurna filter gelombang keluaran digunakan kapasitor. Kapasitor ini diperlukan untuk menghaluskan/meratakan gelombang keluaran DC.

2.4 Perancangan DC-DC Chopper Tipe Cuk

Perancangan DC-DC Chopper tipe cuk ini bertujuan untuk mevariasikan tegangan DC yang dihasilkan untuk inputan *Flyback converter*. Dan dengan menggunakan

kontrol TL494 untuk mendapatkan *duty cycle* lebih besar dari 50%



Gambar 4 Rangkaian cuk converter

Perancangan konverter cuk pada penelitian ini memiliki parameter sebagai berikut :

Tabel 1 Data parameter konverter cuk

Tegangan Masukkan (V_{in}) *	45 VDC
Frekuensi Pemicuan (F)	23000 Hz
Maximum Voltage Ripple	3.1 volt
Duty Cycle	0,1-0,9
Hambatan Beban (R)	1 ohm

a. Pemilihan kapasitor C_1

Berdasarkan persamaan 2.1 maka nilai minimum dari kapasitor C_1 adalah sebagai berikut :

$$C_{1min} > \frac{D^2 T_s}{2R} \quad (2.1)$$

$$C_{min} > \frac{0,1^2 \times 0,031}{2 \times 1}$$

$$C_{min} > 155 \times 10^{-6} \text{ F}$$

Dengan periode *switching* (T_s) adalah 200 μ s, D yaitu 0,1 dan R sama dengan 1 ohm, maka didapatkan $C_1 > 155\mu$ F, sehingga dipilih $C_1 = 470\mu$ F.

b. Pemilihan induktor L_1 dan L_2

Agar konverter cuk bekerja di modus CCM, maka nilai induktansi L_{1min} dan L_{2min} rangkaian konverter cuk harus memenuhi persamaan 2.2 dan 2.3 yang nilainya adalah

$$L_{1min} = \frac{(1-D)^2 R}{2Df} \quad (2.2)$$

$$L_{1min} = \frac{(1-0,1)^2 \cdot 1}{2 \cdot 0,1 \cdot 23000} = 0,17608 \text{ mH}$$

Sedangkan nilai L_{2min} adalah

$$L_{2min} = \frac{(1-D)R}{2f} \quad (2.3)$$

$$L_{2min} = \frac{(1-0,1)1}{2 \cdot 23000} = 19,565 \mu\text{H}$$

Dimana D adalah nilai minimum *duty cycle*. Karena konverter dioperasikan *Continuous Conduction Mode* (CCM) maka

$$L_1 > L_{1min} \text{ dan } L_2 > L_{2min}$$

maka

$$L_1 = 32 \text{ mH}, L_2 = 33 \text{ mH}$$

c. Pemilihan kapasitor C_2

Nilai C_2 dapat ditentukan berdasarkan pendekatan nilai tegangan *ripple* konverter sesuai dengan persamaan 2.4 yang nilainya adalah

$$\Delta V_{C0} = \frac{D V_s}{8C_2 L_2 f^2} \quad (2.4)$$

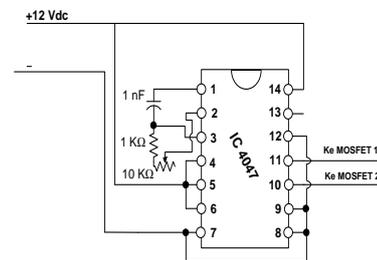
$$3,1 = \frac{(1 - 0,6)450}{8 \times C_2 \times 0,019565 \times 10^{-3} \times 23000^2}$$

$$C_2 = 701,27 \mu\text{F}$$

Tetapi karena dipasaran tidak tersedianya kapasitor dengan nilai 701,27 μ F maka digunakan kapasitor dengan nilai 940 μ F

2.5 Rangkaian Kontrol IC 4047

Perancangan rangkaian osilator pulsa yang digunakan dapat dilihat pada gambar 5.

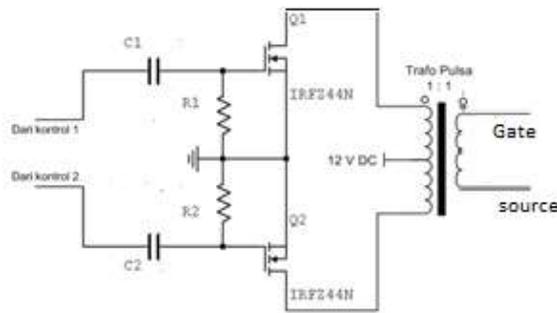


Gambar 5 Kontrol Osilator Pulsa dengan IC 4047

Rangkaian osilator pulsa ini menggunakan IC 4047 untuk menghasilkan gelombang kotak untuk pemicuan Mosfet IRFZ44 pada rangkaian driver. Gelombang kotak yang dihasilkan dapat bervariasi. Pada penelitian digunakan 4-7kHz.

2.6 Rangkaian Driver dan Trafo Pulsa Inti Ferit

Rangkaian driver dan trafo pulsa inti ferit untuk *Flyback Converter* ini dapat dilihat pada gambar 6 berikut ini :

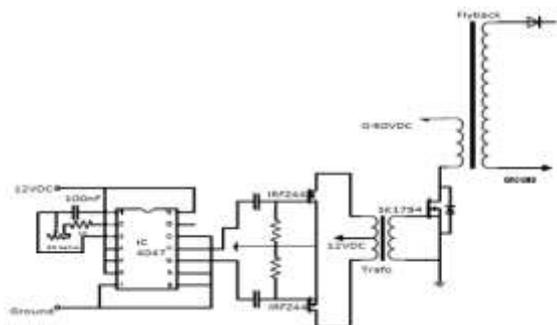


Gambar 6 Skema rangkaian driver dan trafo pulsa inti ferit

Rangkaian driver terdiri atas 2 buah mosfet IRF244 dan sebuah trafo pulsa. Trafo pulsa ini merupakan trafo inti ferit dengan perbandingan 1:1, keluaran dari trafo pulsa berupa tegangan gelombang kotak 12volt, dengan frekuensi tinggi sesuai yang diatur melalui IC4047. Pada gambar 6 dapat dilihat bahwa trafo pulsa merupakan trafo dengan konfigurasi *single switch*. Hal ini dapat dilihat pada sisi sekunder trafo inti ferit yaitu *gate* dan *source* yang nantinya akan digunakan memicu *Flyback converter*.

2.6 Perancangan Driver pembangkit Tegangan Tinggi Impuls

Perancangan driver pembangkit tegangan tinggi impuls terdiri dari dua bagian utama yaitu rangkaian daya dengan menggunakan rangkaian *Flyback converter* dan rangkaian kontrol yaitu osilator pulsa dengan menggunakan IC 4047. Skema rangkaian dapat dilihat pada gambar 7 berikut ini :

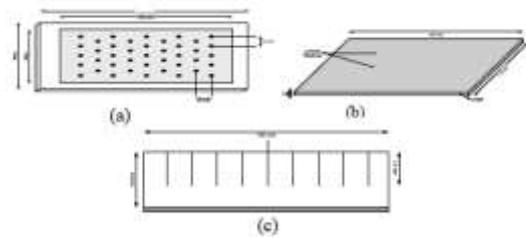


Gambar 7 Skema Rangkaian Pembangkit Tegangan Tinggi

2.7 Reaktor Sterilisasi Susu

Reaktor plasma sterilisasi susu menggunakan konfigurasi elektroda jarum-bidang yang diberi jarak sela udara.

Bentuk dan gambar elektroda dapat dilihat pada gambar 8 berikut ini :



Gambar 8 Konfigurasi elektroda reaktor plasma lucutan korona

- (a) Elektroda tegangan tinggi / jarum
- (b) Elektroda ground / bidang
- (c) Bentuk konfigurasi elektroda tampak dari samping

Jarum yang digunakan sebagai elektroda tegangan tinggi terbuat dari kawat tembaga diameter 1 mm dan panjang 2mm yang masing-masing memiliki jarak 2mm dan 6mm. Sementara untuk elektroda negatif yang berupa bidang atau *plat* dari bahan *stainless steel* dengan panjang 160mm dan lebar 110 mm. Antara elektroda jarum dan bidang diberikan sela udara dengan jarak 18mm sesuai dengan tegangan peak yaitu :

$$e_v = m_v g_v r \ln \left(\frac{S}{r} \right) \quad (2.5)$$

2.8 SUSU

Susu merupakan bahan makanan yang bernilai gizi tinggi yang diperoleh dari hasil pemerahan hewan seperti sapi. Sterilisasi susu dilakukan dengan cara :

- Sistem UHT (*Ultra High Temperature*), yaitu susu dipanaskan sampai suhu 137°-140°C selama 2-5 detik.
- Susu di dalam kemasan hermetis dipanaskan pada suhu 110°-121°C selama 20-45 detik.
- Pasteusisasi yaitu susu dipanaskan dengan suhu 60°-75°C minimal 1 menit.

Hal ini dapat mengurangi struktur dari kandungan susu, oleh karena itu akan dilakukan pengujian susu dengan tegangan tinggi seperti yang akan dijelaskan dalam pengujian dan analisa.

3. Hasil dan Analisa

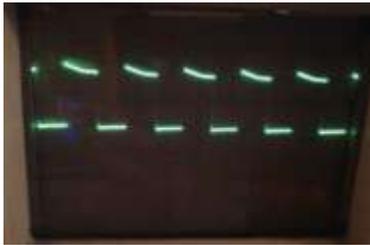
Pengujian dan analisa dilakukan dalam penelitian ini adalah pengujian terhadap hardware dan pada sistem secara keseluruhan

3.1 Pengujian Gelombang Keluaran

Gelombang hasil pengukuran keluaran rangkaian driver dan isolator pulsa IC 4047 dapat dilihat pada Gambar 9 dan keluaran rangkaian IC TL494 dapat dilihat pada gambar 10.



Gambar 9 Gelombang hasil pengukuran tegangan keluaran rangkaian driver dan isolator pulsa IC4047

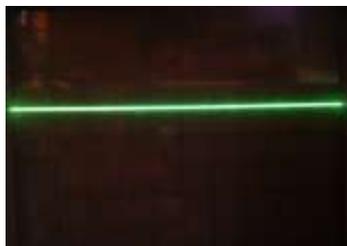


Gambar 10 Gelombang hasil pengukuran tegangan keluaran rangkaian isolator pulsa TL494

Pada gambar 9 terlihat bahwa gelombang kotak keluaran driver memiliki amplitudo sebesar 4 div dengan volt/div = 5 v dan faktor pengali 1x maka tegangan yang dihasilkan yaitu 20 volt, Mosfet SK1794 memiliki tegangan pemuncian kurang lebih 30 volt, sehingga tegangan keluaran driver dan isolator pulsa ini masih dapat digunakan untuk memicu Mosfet SK 1794.

Pada gambar 10 terlihat bahwa gelombang kotak keluaran driver memiliki amplitudo sebesar 2 div dengan volt/div= 5 volt dan faktor pengali 1x, maka tegangan yang dihasilkan yaitu 10 volt, mosfet yang digunakan SK 1794 sehingga tegangan yang dihasilkan TL494 masih sesuai untuk memicu mosfet SK1794.

Gelombang hasil pengukuran keluaran DC Chopper tipe cuk dan tegangan tinggi dapat dilihat pada gambar 11 dan 12 berikut ini :



Gambar 11 Gelombang keluaran hasil pengukuran tegangan keluaran cuk converter

Tabel 2 Data CSV dengan 3,76Kv

V/div	T/div	Probe
2V	100µS	1000



Gambar 12 Gelombang keluaran hasil pengukuran tegangan keluaran pembangkit tegangan tinggi.

Gambar 11 dapat dilihat bahwa besarnya tegangan puncak keluaran cuk converter yaitu 1,1 div dengan dutycycle 20% maka besarnya tegangan keluaran yang dihasilkan cuk converter yaitu ;

$$V = 1,1 \text{div} \times 1 \text{ volt/div} \times 10 = 11 \text{ volt}$$

Gambar 12 dapat dilihat bahwa besarnya tegangan dari trafo tegangan tinggi yaitu 1,8 div. Dengan inputan dari cuk converter 11 volt dihitung sebagai berikut :

$$V = 1,8 \text{div} \times 2 \text{ volt/div} \times 1000 = 3600 \text{ volt} = 3,6 \text{ kV}$$

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{2,2 \times 100 \mu\text{s}} = 4,545 \text{ kHz} \quad (3.1)$$

Berdasarkan perhitungan dan pengukuran pada Gambar 11 dan Gambar 12 didapatkan hasil yang sudah saling mendekati sehingga dapat dikatakan bahwa data yang didapatkan sudah sesuai antara perhitungan dan pengukuran.

Berdasarkan perhitungan tersebut didapatkan tabel sebagai berikut:

Tabel 3 Data perhitungan tegangan tinggi

V/div	T/div	probe	div V	divT	v (kV)	f (kHz)
2	100	x1000	1,8	2,2	3,6	4,545
2	100	X1000	2	2,2	4	4,545
2	100	X1000	2,5	2,2	5	4,545
5	100	X1000	1,2	2,2	6	4,545
5	100	X1000	1,4	2,2	7	4,545

Gelombang impuls yang dihasilkan dari keluaran Flyback hampir mendekati tegangan impuls berbentuk baji tetapi memiliki penurunan tegangan yang untuk gelombang selanjutnya tidak menurun curam tetapi setelah puncak gelombang memiliki punggung untuk mencapai pulsa berikutnya, hal ini dikarena gelombang flyback menghasilkan efek kapasitif karena Flyback yang digunakan merupakan Flyback universal yang digunakan

untuk menghasilkan tegangan tinggi DC sehingga saat diberi frekuensi tinggi untuk menghasilkan impuls masih terkena dampak kapasitif sehingga memunculkan adanya punggung pada gelombang.

3.2 Perhitungan Daya dan Efisiensi

Hasil tegangan yang diperoleh dari *cuk converter* akan dialirkan menuju *flyback converter* sehingga tegangan yang 32 volt akan menghasilkan 7400kV. Maka didapatkan persamaan 3.4 sebagai berikut:

$$\frac{v1}{v2} = \frac{i2}{i1} \tag{3.2}$$

$$\frac{32}{7400} = \frac{i2}{i1}$$

Maka $I2 = 6.10^{-3} I_1$ dan tegangan tinggi sesuai perhitungan yaitu 7kV sehingga didapatkan efisiensi dari *flyback* dengan perhitungan yaitu sebagai berikut:

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} = \frac{7000 \times 6 \cdot 10^{-3}}{32} = 94,54\%$$

Maka energi yang dikonsumsi yaitu sangat kecil 32 watt/detik berdasarkan P_{out} yang dihasilkan .Alat ini dapat dikatakan tidak membutuhkan energi yang besar dalam penggunaannya.

3.3 Pengujian Tegangan Tinggi Pada Susu Perah

Pengujian pengaruh tegangan tinggi impuls terhadap jumlah bakteri bertujuan dapat meminimalisir bakteri yang ada dalam susu.. Parameter jumlah bakteri yang diukur dalam penelitian ini adalah jumlah seluruh kandungan bakteri dari susu yang diberikan tegangan tinggi dengan variasi tegangan dan variasi waktu. Dalam pengujian ini reaktor diberikan tegangan tinggi yang bervariasi, mulai dari 3.76kV, 4kV, 5.2kV, 6kV, dan 7.40kV. Pengujian ini dilakukan dengan cara memberikan tegangan tinggi pada susu yang ada didalam reaktor secara terus menerus selama 1 menit dan 2 menit. Kemudian melakukan pengukuran jumlah bakteri yang ada pada susu untuk mengetahui pengaruh variasi tegangan dan variasi waktu terhadap jumlah bakteri yang ada didalam susu.

Tabel 4 Data pengujian variasi tegangan tinggi pulsa terhadap jumlah bakteri

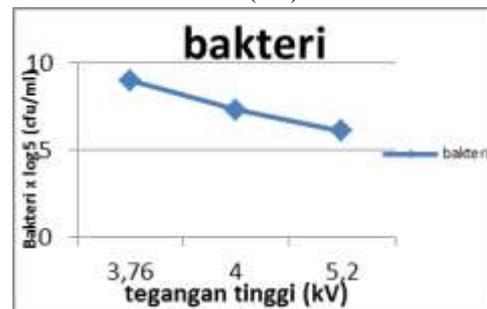
Tegangan Tinggi (kV)	Jumlah bakteri sebelum diberi tegangan tinggi (cfu/ml)	Jumlah bakteri diberi tegangan tinggi 1 menit (cfu/ml)	Jumlah bakteri diberi tegangan tinggi 2 menit (cfu/ml)
3,76	21x10 ⁵	9x10 ⁵	2,0x10 ⁵
4	21x10 ⁵	7,3x10 ⁵	10x10 ⁵

5,20	21x10 ⁵	6,1x10 ⁵	2,3x10 ⁵
6	21x10 ⁵	35x10 ⁵	4,2x10 ⁵
7,40	21x10 ⁵	23x10 ⁵	38x10 ⁵

Tabel 5 Data pengujian variasi tegangan tinggi pulsa terhadap PH

Tegangan Tinggi (kV)	PH sebelum	PH (1menit)	PH (2menit)
3,76	5,63	6,48	5,74
4	5,63	5,92	5,73
5,20	5,63	5,84	5,69
6	5,63	5,9	5,82
7,40	5,63	5,74	5,66

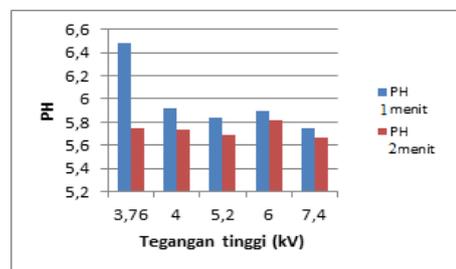
(4.7)



Gambar 13 Grafik Hubungan Antara Tegangan Tinggi pulsa dan jumlah bakteri dengan frekuensi sama 4,22kHz selama 1 menit



Gambar 14 Grafik Hubungan Antara Tegangan Tinggi pulsa dan jumlah bakteri dengan frekuensi sama 4,22kHz selama 2 menit



Gambar 15 Grafik Hubungan Antara Tegangan Tinggi pulsa dan PH dengan frekuensi sama 4,22kHz

Sebelum dihasilkan tegangan, jumlah bakteri 21x10⁵ cfu/ml dan saat diberi tegangan tinggi didapatkan hasilnya

dengan tegangan 3.76 kV diperoleh jumlah bakteri 9×10^5 dan 2×10^5 cfu/ml, tegangan 4kV diperoleh jumlah bakteri $7,3 \times 10^5$ dan 10×10^5 cfu/ml, tegangan 5.2kV diperoleh jumlah bakteri $6,1 \times 10^5$ dan $2,3 \times 10^5$, tegangan 6kV diperoleh jumlah bakteri 35×10^5 dan $4,2 \times 10^5$ serta tegangan 7.4kV diperoleh jumlah bakteri 23×10^5 dan 38×10^5 . Jika dibandingkan jumlah bakteri semula dapat dilihat berdasarkan data percobaan bahwa pulsa tegangan tinggi dapat mempengaruhi jumlah bakteri yang ada pada susu sapi, tetapi pada data percobaan ada data yang mengandung bakteri yang melebihi batasannya standar yang telah ditetapkan Bakteri yang berkurang dikarenakan pulsa medan listrik yang dihasilkan tegangan tinggi sehingga menonaktifkan bakteri yang ada pada susu sesuai dengan teori pulsa medan listrik terhadap bakteri.

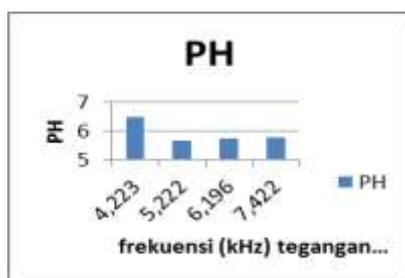
Gambar 15 nilai PH setelah diberikan tegangan tinggi pulsa hampir sama dan tidak ada perbedaan yang hampir kontras. Dari tinggi pulsa yang diberikan yaitu 3.76kV, 4kV, 5.2kV, 6kV, dan 7.40kV didapatkan nilai PH yang berbeda beda tetapi tidak memiliki perbedaan yang sangat jauh.

Tabel 6 Data pengujian variasi frekuensi

f (kHz)	Tegangan (kV)	PH sebelum	PH setelah	Bakteri sebelum	Bakteri setelah
4,223	4	5,63	6,48	21×10^5	9×10^5
5,222	4.9	5,63	5,67	21×10^5	$2,2 \times 10^5$
6,196	4	5,63	5,73	21×10^5	35×10^5
7,422	4	5,63	5,77	21×10^5	$2,7 \times 10^5$



Gambar 16 Grafik Hubungan Antara Tegangan Tinggi pulsa dan PH Variasi Frekuensi Tegangan 4kV



Gambar 17 Grafik Hubungan Antara Tegangan Tinggi pulsa dan jumlah Bakteri dengan Variasi Frekuensi pada 4kV

PH pada susu setelah diberikan tegangan tinggi 4kV dengan variasi frekuensi yaitu 4,223kHz, 5,222kHz, 6,196kHz dan 7,422kHz. Frekuensi tidak memiliki efek yang besar terhadap pengaruh PH dimana hasil yang diperoleh yaitu dengan frekuensi 4,223kHz didapatkan PH yaitu 6,48, frekuensi 5,222kHz didapatkan PH 5,67, frekuensi 6,196kHz didapatkan PH 5,73 dan frekuensi 7,422kHz didapatkan PH 5,77. PH sebelum diberikan tegangan tinggi yaitu 5,63 sehingga tidak ada efek yang begitu besar tegangan tinggi dengan frekuensi tinggi terhadap PH.

jumlah bakteri pada susu setelah diberikan tegangan tinggi 4kV dengan variasi frekuensi yaitu 4,223kHz, 5,222kHz, 6,196kHz dan 7,422kHz. Frekuensi memiliki efek terhadap jumlah bakteri dimana hasil yang diperoleh yaitu dengan frekuensi 4,223kHz diperoleh jumlah bakteri 9×10^5 cfu/ml, frekuensi 5,222kHz diperoleh jumlah bakteri $2,2 \times 10^5$ cfu/ml, frekuensi 6,196kHz diperoleh jumlah bakteri 35×10^5 cfu/ml dan frekuensi 7,422kHz diperoleh jumlah bakteri $2,7 \times 10^5$. Jumlah bakteri sebelum diberikan tegangan tinggi 4kV dengan variasi frekuensi yaitu 21×10^5 cfu/ml. Berdasarkan pengujian ini diperoleh bahwa variasi frekuensi pada tegangan tinggi didapatkan terjadinya penurunan jumlah bakteri yang masih dibawah standar maksimal sesuai SNI 2000.

4. Kesimpulan

Tegangan tinggi impuls yang dihasilkan oleh *Flyback* memiliki kisaran 3 sampai 7kV dengan variasi frekuensi 4kHz dan 7kHz. Persentase penurunan PH susu tidak terlalu jauh berbeda dengan keadaan susu sebelum diberikan variasi tegangan tinggi untuk menghasilkan pulsa medan listrik yaitu 5,63 dan PH susu setelah diberikan tegangan tinggi tidak jauh berbeda dengan PH susu awal. PH susu setelah terkena pulsa medan listrik yang dihasilkan melalui tegangan tinggi pada waktu 1 menit dan 2 menit dengan tegangan 3.76 kV diperoleh PH 6,48 dan 5,74, tegangan 4kV diperoleh PH sebesar 5,92 dan 5,73, tegangan 5.2kV diperoleh PH sebesar 5,84 dan 5,69, tegangan 6kV diperoleh PH sebesar 5,9 dan 5,82 serta tegangan 7.4kV di peroleh PH sebesar 5,74 dan 5,66 dan Jumlah bakteri setelah terkena pulsa medan listrik yang dihasilkan tegangan tinggi memiliki nilai dibawah batasan yang ditetapkan dalam SNI 2000 dengan jumlah bakteri $34,5 \times 10^5$ cfu/ml. Dengan tegangan 3.76 kV diperoleh jumlah bakteri 9×10^5 dan 2×10^5 cfu/ml, tegangan 4kV diperoleh jumlah bakteri $7,3 \times 10^5$ dan 10×10^5 cfu/ml, tegangan 5.2kV diperoleh jumlah bakteri $6,1 \times 10^5$ dan $2,3 \times 10^5$, tegangan 6kV diperoleh jumlah bakteri 35×10^5 dan $4,2 \times 10^5$ serta tegangan 7.4kV diperoleh jumlah bakteri 23×10^5 dan 38×10^5 . Hasil PH pada susu diberikan tegangan tinggi 4kV dengan variasi frekuensi yaitu 4,223kHz, 5,222kHz, 6,196kHz dan 7,422kHz. Frekuensi tidak memiliki efek yang besar terhadap pengaruh PH dimana hasil yang diperoleh yaitu

dengan frekuensi 4,223kHz didapatkan PH yaitu 6,48, frekuensi 5,222kHz didapatkan PH 5,67 frekuensi 6,196kHz didapatkan PH 5,73 dan frekuensi 7,422kHz didapatkan PH 5,77. Jumlah bakteri pada susu diberikan tegangan tinggi 4kV dengan variasi frekuensi yaitu 4,223kHz, 5,222kHz, 6,196kHz dan 7,422kHz. Frekuensi memiliki efek terhadap jumlah bakteri dimana hasil yang diperoleh yaitu dengan frekuensi 4,223kHz diperoleh jumlah bakteri 9×10^5 cfu/ml, frekuensi 5,222kHz diperoleh jumlah bakteri $2,2 \times 10^5$ cfu/ml, frekuensi 6,196kHz diperoleh jumlah bakteri 35×10^5 cfu/ml dan frekuensi 7,422kHz diperoleh jumlah bakteri $2,7 \times 10^5$. Jumlah bakteri sebelum diberikan tegangan tinggi dengan variasi tegangan dan dengan tegangan 4kV dengan variasi frekuensi yaitu 21×10^5 cfu/ml.

Referensi

- [1]. Cueva , Olga A.”*Pulsed Electric Field Influences On Acid Tolerance, Bile Tolerance, Protease Activity and Growth Characteristics of Lactobacillus Acidophilus LA-K*”, Louisiana State University, 2009.
- [2]. Jayaram, Shesa H. “*Sterilization of Liquid Foods by Pulsed Electric Fields*”, University of Waterloo, 2000, vol.16, pp.17-18
- [3]. Apriliawan, Hadi.” *Laban Electric Alat Pasteurisasi Susu Kejut Listrik Tegangan Tinggi (Pulsed electric Field) Menggunakan Flyback Transformer*”, Universitas Brawijaya.
- [5]. Arismunandar, Artono,”*Teknik Tegangan Tinggi*”, Jakarta, PT Pradnya Paramita, 2001, 30-35.
- [6]. Abduh, Syamsir, “*Teknik Tegangan Tinggi*”, Jakarta, Salemba Teknika, 36-38.
- [7]. Arifin.Fajar, penelitian; *Perancangan Pembangkit Tegangan Tinggi Impuls Untuk Aplikasi Pengolahan Limbah Cair Industri Minuman Ringan Dengan Teknologi Plasma Lucutan Korona*, Universitas Diponegoro,2009.
- [8]. Rashid, M. H., “*Power Electronics:Handbook*”, University of Florida, Florida, 2001.
- [9]. Salam, Zainal. “*Power Electronics and Driver*”, 2002, Ver.2.
- [10]. Kurniawan, Singgih. “*Maximum Power Point Tracking(MPPT) dengan Konverter DC-DC Tipe Cuk Menggunakan Metode Logika Fuzzy pada Fotovoltaik*”, Universitas Diponegoro, 2012.
- [11]. Rahardjo, Rino Eko, penelitian: *Pembuatan Modul Perangkat Keras DC Chooper*, Universitas Diponegoro, 2006.