

**RANCANG BANGUN MEDAN LISTRIK BERPULSA DENGAN  
ELEKTRODA KEPING SEJAJAR SEBAGAI ALAT  
DEAKTIFATOR BAKTERI  
(STUDI KASUS PADA SUSU KEMASAN)**

**SKRIPSI**

**Oleh:**

**AMILIYATUL MAWADDAH**

**NIM. 12640037**



**JURUSAN FISIKA  
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI  
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM  
MALANG  
2016**

**RANCANG BANGUN MEDAN LISTRIK BERPULSA DENGAN  
ELEKTRODA KEPING SEJAJAR SEBAGAI ALAT DEAKTIFATOR  
BAKTERI  
(STUDI KASUS PADA SUSU KEMASAN)**

**SKRIPSI**

**Diajukan kepada:**

**Fakultas Sains dan Teknologi  
Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang  
Untuk Memenuhi Salah Satu Persyaratan Dalam  
Memperoleh Gelar Sarjana Sains (S.Si)**

**Oleh:**

**AMILIYATUL MAWADDAH  
NIM. 12640037**

**JURUSAN FISIKA  
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI  
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM  
MALANG  
2016**

HALAMAN PERSETUJUAN

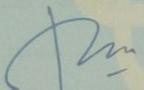
RANCANG BANGUN MEDAN LISTRIK BERPULSA DENGAN  
ELEKTRODA KEPING SEJAJAR SEBAGAI ALAT  
DEAKTIFATOR BAKTERI  
(STUDI KASUS PADA SUSU KEMASAN)

SKRIPSI

Oleh:  
AMILIYATUL MAWADDAH  
NIM. 12640037

Telah Diperiksa dan disetujui untuk Diuji:  
Pada tanggal: 1 September 2016

Pembimbing I,

  
Farid Samsu Hananto, M.T  
NIP. 19740513 200312 1 001

Pembimbing II,

  
Drs. Abdul Basid, M.Si  
NIP. 19650504 199003 1 003

Mengetahui,  
Ketua Jurusan Fisika



Erna Hastuti, M.Si  
NIP. 19811119 200801 2 009

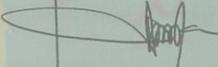
HALAMAN PENGESAHAN

RANCANG BANGUN MEDAN LISTRIK BERPULSA DENGAN  
ELEKTRODA KEPING SEJAJAR SEBAGAI ALAT DEAKTIFATOR  
BAKTERI (STUDI KASUS PADA SUSU KEMASAN)

SKRIPSI

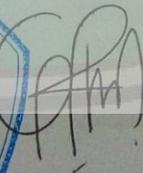
Oleh:  
Amiliyatul Mawaddah  
NIM. 12640037

Telah Dipertahankan di depan Dewan Penguji Skripsi dan  
Dinyatakan Diterima Sebagai Salah Satu Persyaratan  
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Sains (S.Si)  
Tanggal: 16 September 2016

Penguji Utama:	<u>Erika Rani, M.Si</u> NIP. 19810613 200604 2 002	
Ketua Penguji:	<u>Dr. H. Agus Mulyono, S.Pd. M.Kes</u> NIP. 19750808 199903 1 003	
Sekretaris Penguji:	<u>Farid Samsu Hananto, M.T</u> NIP. 19740513 200312 1 001	
Anggota Penguji:	<u>Drs. Abdul Basid, M.Si</u> NIP. 19650504 199003 1 003	

Mengetahui,  
Ketua Jurusan Fisika



  
Erna Hastuti, M.Si  
NIP. 19811119 200801 2 009

## PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Amiliyatul Mawaddah  
Nim : 12640037  
Jurusan : Fisika  
Fakultas : Sains dan Teknologi  
Judul : Rancang Bangun Medan Listrik Berpulsa dengan Elektroda Keping Sejajar untuk Deaktifator Bakteri (Studi Kasus pada Susu Kemasan)

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri, bukan merupakan pengambilalihan data, tulisan atau pikiran orang lain yang saya akui sebagai hasil tulisan atau pikiran saya sendiri, kecuali dengan mencantumkan sumber cuplikan pada daftar pustaka. Apabila kemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan skripsi ini hasil jiplakan, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Malang, 1 September 2016  
Yang membuat pernyataan



Amiliyatul Mawaddah  
NIM. 12640037

## MOTTO

Hal paling penting dalam kehidupan  
Bukanlah kemenangan namum perjuangan

مَنْ جَدَّ وَجَدَّ



## HALAMAN PERSEMBAHAN

### **KARYA INI KUPERSEMBAHKAN UNTUK**

Dengan segala rasa syukur yang tiada henti, skripsi ini penulis persembahkan **ALLAH SWT** sebagai sang penguasa alam

teruntuk kedua orang tua, ayahanda **Achmad Hasan** dan ibunda tercinta **Mukammilah** yang selalu tiada henti memberi semangat, doa yang tak pernah putus, serta semangat moral maupun materi. Terima kasih atas segala kasih sayang yang selalu diberikan, tulisan ini tak pernah cukup untuk memenuhi semua pengorbanan mereka.

Untuk kakak-kakakku **Kamal Hasan M.** dan **Hang Mufarokah** terima kasih atas semangat dan bimbingannya selama ini, semoga kalian secepatnya menyusul.

Untuk adikku tercinta **Maulana Achmil Abid** terima kasih atas semangatnya untuk segera mengurusi pulang yang berarti harus menyelesaikan skripsi ini.

Untuk teman-teman fisika (Rina Agustina, Arini Maulida F. Lestari Indria S, Afnan, Makbul, Trianti Febriana, Mukarromah, dll) terimakasih atas dukungan dan do'a

Untuk teman-teman **HAHA** (Hizbiyah Rizanti, Nurul Ania, Anus syofiq, Nur Zimamigah, Siti Rafida, Iffana Kholida, Cieik M.H, Darrotun Nafisah, Siti Chaulatul) terima kasih atas dukungan dan do'a

## KATA PENGANTAR

*Assalamualaikum Wr. Wb.*

Alhamdulillah puji syukur kehadiran Allah Swt yang telah memberikan rahmat, taufiq, dan hidayah-Nya. Sholawat dan salam semoga selalu tercurahkan kepada junjungan kita Baginda Rasulullah, Muhammad Saw serta para keluarga, sahabat, dan pengikut-pengikutnya. Atas ridha dan kehendak Allah Swt, penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **Pengaruh Ekstrak Abu Pohon Pisang dan Komposisi Serat Pisang Raja (*Musa Paradisiaca*) Terhadap Karakteristik Kain** sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains (S.Si) di jurusan Fisika Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.

Selanjutnya penulis haturkan ucapan terimakasih seiring doa dan harapan *jazakumullah ahsana l'jaza* kepada semua pihak yang telah membantu terselesaikannya skripsi ini. Ucapan terimakasih ini penulis sampaikan kepada:

1. Prof. Dr. H. Mudjia Rahardjo, M.Si selaku Rektor Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang yang telah banyak memberikan pengetahuan dan pengalaman yang berharga.
2. Dr. drh. Bayyinatul Muchtaromah, M.Si selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
3. Erna Hastuti, M.Si selaku Ketua Jurusan Fisika yang telah banyak meluangkan waktu, nasehat dan Inspirasinya sehingga dapat melancarkan dalam proses penulisan Skripsi.
4. Dr. Agus Mulyono, S.Pd, M.Kes selaku Dosen Pembimbing Skripsi yang telah banyak meluangkan waktu, pikirannya dan memberikan bimbingan, bantuan serta pengarahan kepada penulis sehingga skripsi ini dapat terselesaikan.
5. Umayyatus Syarifah, MA selaku Dosen Pembimbing Agama, yang bersedia meluangkan waktu, ilmunya, dan kesabarannya untuk memberikan bimbingan dan pengarahan bidang integrasi Sains dan al-Quran serta Hadits.

6. Segenap Dosen, Laboran dan Admin Jurusan Fisika Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang yang telah bersedia mengamalkan ilmunya, membimbing dan memberikan pengarahan serta membantu selama proses perkuliahan.
7. Kedua orang tua dan keluarga yang telah memberikan dukungan baik secara moril dan material, restu, dan selalu mendoakan disetiap langkah penulis.
8. Sahabat dan teman-teman terimakasih atas kebersamaan dan persahabatan serta pengalaman selama ini.
9. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu, yang telah banyak membantu dalam penyelesaian skripsi ini.

Semoga skripsi ini bisa memberikan manfaat, tambahan ilmu dan dapat menjadikan inspirasi kepada para pembaca *Amin Ya Rabbal Alamin*.

*Wassalamu 'alaikum Wr. Wb.*

Malang, 1 Agustus 2016

Penulis

## DAFTAR ISI

<b>COVER</b> .....	<b>i</b>
<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	<b>ii</b>
<b>HALAMAN PERSETUJUAN</b> .....	<b>iii</b>
<b>HALAMAN PENGESAHAN</b> .....	<b>iv</b>
<b>PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN</b> .....	<b>v</b>
<b>MOTTO</b> .....	<b>vi</b>
<b>HALAMAN PERSEMBAHAN</b> .....	<b>vii</b>
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	<b>viii</b>
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>x</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>xii</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>xiii</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	<b>xiv</b>
<b>ABSTRAK</b> .....	<b>xv</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>xvi</b>
<b>ملخص</b> .....	<b>xvii</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN</b>	
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	7
1.3 Tujuan .....	8
1.4 Manfaat .....	8
1.5 Batasan Masalah.....	8
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b>	
2.1 Medan Listrik .....	9
2.1.1 Medan Listrik pada Kapasitor Keping Sejajar .....	13
2.2 Sumber Tegangan Tinggi .....	18
2.2.1 Sumber Tegangan Tinggi AC.....	18
2.2.2 Sumber Tegangan Tinggi DC.....	20
2.2.3 Komponen Tegangan Tinggi.....	21
2.3 Osilator.....	25
2.4 Susu .....	26
2.5 Bakteri .....	28
2.3.1 Bakteri Patogen pada Susu .....	30
2.3.2 Efek Biologis Bakteri yang Dipapari Medan Listrik.....	34
<b>BAB III METODE PENELITIAN</b>	
3.1 Jenis Penelitian.....	37
3.2 Waktu dan Tempat .....	37
3.3 Alat dan Bahan.....	37
3.3.1 Alat .....	37
3.3.2 Bahan.....	39
3.4 Tahap dan Alur Penelitian.....	39
3.5 Perancangan Alat .....	39
3.5.1 Perancangan Pembangkit Pulsa Tegangan Tinggi .....	39
3.5.2 Perancangan Tempat Perlakuan .....	42
3.5.3 Pengujian Alat .....	43
3.6 Teknik Pengambilan Data .....	43

3.6.1 Pengambilan Data dengan Variasi Frekuensi.....	44
3.6.2 Pengambilan Data dengan Variasi Waktu Paparan.....	45
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN</b>	
4.1 Pengujian Alat.....	47
4.1.1 Sumber DC.....	47
4.1.2 Pengujian Osilator 1 terhadap Trafo Step Up .....	48
4.1.3 Pengujian Osilator 2 terhadap Interuptor .....	50
4.1.4 Pengujian Trafo Step Up dan Trafo High Voltage.....	52
4.1.5 Pengujian Tegangan Keluaran.....	53
4.2 Data Hasil Percobaan .....	55
4.2.1 Pengambilan Data pada Bakteri <i>Listeria monocytogenes</i> .....	57
4.2.2 Pengambilan Data pada Bakteri <i>Salmonella typhimurium</i> .....	62
4.3 Pembahasan.....	67
4.4 Kajian Integrasi Aplikasi Medan Listrik Berpulsa.....	75
<b>BAB V PENUTUP</b>	
5.1 Kesimpulan .....	80
5.2 Saran.....	81
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	
<b>LAMPIRAN</b>	



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Dua medan listrik sederhana yang telah dipetakan dengan bantuan garis gaya (Bueche, 2006) .....	12
Gambar 2.2 Kapasitor keping sejajar dan arah medan listrik kapasitor keping sejajar (Tipler, 1991).....	15
Gambar 2.3 Dioda dan Simbol Dioda (Susanto, 2006).....	22
Gambar 2.4 Dioda zener dan simbol dioda zener (Susanto, 2006).....	22
Gambar 2.5 Simbol transistor jenis pnp dan npn (Susanto, 2006).....	23
Gambar 2.6 Simbol Kapasitor.....	24
Gambar 2.7 Simbol <i>Silicon Controller Rectifier</i> (SCR) (Susanto, 2006).....	24
Gambar 3.1 Tahap dan Alur Penelitian.....	39
Gambar 3.2 Rangkaian Tegangan Tinggi .....	40
Gambar 3.3 Prinsip kerja dari Rangkaian tegangan tinggi.....	41
Gambar 3.4 Ruang Perlakuan PEF .....	42
Gambar 3.5 Perancangan alat secara keseluruhan .....	42
Gambar 3.6 Diagram alir pengambilan data .....	44
Gambar 4.1 Alur rangkaian tegangan tinggi .....	47
Gambar 4.2 Skematik power supply .....	48
Gambar 4.3 Rangkaian uji osilator terhadap trafo step up.....	49
Gambar 4.4 sinyal keluaran osilator terhadap trafo step up.....	50
Gambar 4.5 rangkaian uji osilator terhadap interuptor .....	50
Gambar 4.6 Keluaran sinyal osilator terhadap interuptor .....	51
Gambar 4.7 Hubungan lebar pulsa dengan frekuensi .....	52
Gambar 4.8 Rangkaian trafo step up dan trafo high voltage.....	53
Gambar 4.9 Elektroda bola-bola .....	54
Gambar 4.10 Grafik hubungan jarak dengan tegangan keluaran.....	55
Gambar 4.11 Grafik hubungan frekuensi dengan rata-rata jumlah bakteri hidup.....	58
Gambar 4.12 Grafik waktu paparan terhadap jumlah bakteri .....	60
Gambar 4.13 Grafik variasi frekuensi terhadap rata-rata jumlah bakteri hidup.....	63
Gambar 4.14 Grafik hubungan waktu paparan terhadap rata-rata jumlah bakteri.....	65

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Nilai Konstanta dielektrik .....	17
Tabel 2.2 Batas Cemaran Mikroba Maksimal dalam Susu Segar .....	28
Tabel 2.3 Perbedaan bakteri gram positif dan bakteri gram negatif .....	30
Tabel 3.1 Data dengan Variasi frekuensi pada Bakteri <i>Listeria monocytogenee</i> .....	45
Tabel 3.2 Data dengan Variasi frekuensi pada bakteri <i>Salmonella typhimurium</i> .....	45
Tabel 3.3 Data dengan Variasi waktu paparan pada bakteri <i>Listeria monocytogenes</i> .....	45
Tabel 3.4 Data dengan Variasi waktu paparan pada bakteri <i>Salmonella typhimurium</i> .....	46
Tabel 4.1 Pengambilan data variasi frekuensi pada rangkaian tegangan tinggi .	52
Tabel 4.2 Pengambilan data pada tegangan keluaran .....	54
Tabel 4.3 Pengambilan data dengan variasi frekuensi .....	57
Tabel 4.4 Analisis uji one way frekuensi terhadap jumlah bakteri hidup .....	59
Tabel 4.5 Analisis lanjutan menggunakan Duncan frekuensi terhadap banyaknya bakteri .....	59
Tabel 4.6 Pengambilan Data dengan variasi waktu paparan.....	60
Tabel 4.7 Uji Anova waktu paparan terhadap jumlah bakteri hidup .....	61
Tabel 4.8 Analisis lanjutan menggunakan Duncan waktu paparan terhadap banyaknya bakteri.....	62
Tabel 4.9 Pengambilan data dengan variasi frekuensi .....	63
Tabel 4.10 Uji Anova frekuensi terhadap jumlah bakteri hidup .....	64
Tabel 4.11 Analisis lanjutan menggunakan Duncan frekuensi terhadap banyaknya bakteri.....	64
Tabel 4.12 Pengambilan data dengan variasi waktu paparan .....	65
Tabel 4.13 Uji Anova waktu paparan terhadap jumlah bakteri hidup .....	66
Tabel 4.14 Analisis lanjutan menggunakan Duncan waktu paparan terhadap jumlah bakteri.....	67

## DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1 Data Hasil Koloni Bakteri *Listeria monocytogenes* dan *Salmonella typhimurium* setelah di papari dengan medan listrik beserta kontrol
- Lampiran 2 Data Hasil Presentase penurunan kematian Bakteri *Listeria monocytogenes* dan *Salmonella typhimurium* setelah dipapar oleh medan listrik berpulsa
- Lampiran 3 Perhitungan
- Lampiran 4 Analisis tabel Anova
- Lampiran 5 Gambar layout PCB skema rangkaian alat
- Lampiran 6 Gambar Alat Medan Listrik Berpulsa
- Lampiran 7 Gambar alat dan bahan penelitian
- Lampiran 8 Lembar Bukti Konsultasi



## ABSTRAK

Mawaddah, Amiliyatul. 2016. **Rancang Bangun Medan Listrik Berpulsa dengan Elektroda Keping Sejajar sebagai Alat Daktivator Bakteri (Studi Kasus pada Susu Kemasan)**. Skripsi. Jurusan Fisika. Fakultas Sains dan Teknologi. Universitas Islam Negeri (UIN) Maulana Malik Ibrahim Malang.  
Pembimbing: (I) Farid Samsu Hananto M.T (II) Drs. Abdul Basid M.Si

---

Kata Kunci : medan listrik, keping sejajar, tegangan tinggi, susu kemasan, bakteri, *Listeria monocytogenes*, *Salmonella typhimurium*

Susu salah satu makan pokok yang mudah terkontaminasi dengan bermacam-macam bakteri. Medan listrik berpulsa yang diaplikasikan pada elektroda keping sejajar dapat dimanfaatkan untuk mengurangi pertumbuhan bakteri. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh frekuensi dan lama paparan terhadap proses pertumbuhan bakteri yang diterapkan pada bakteri *Listeria monocytogenes* dan bakteri *Salmonella typhimurium*. Proses pembuatan alat dengan menggunakan IC 555 sebagai osilator dihubungkan ke trafo step up dan trafo high voltage. IC 555 digunakan sebagai timer dan dihubungkan dengan interuptor untuk memvariasikan nilai frekuensi. Alat mempunyai nilai tegangan keluaran 18 kV dan medan listrik 3,6 kV/cm. Pengambilan data dengan variasi frekuensi (15, 25, 50, dan 100 Hz) dan variasi waktu paparan (5, 10, 15, 20, dan 25 menit) dilakukan pada masing-masing bakteri. Hasil uji penelitian ini menunjukkan variasi frekuensi dan lama waktu paparan mempengaruhi pertumbuhan bakteri pada susu kemasan. Penghambatan pertumbuhan bakteri *Listeria monocytogenes* yang paling optimal pada frekuensi (100 Hz) dengan jumlah koloni ( $0,780 \times 10^8$  CFU/ml) dan waktu paparan (25 menit) dengan jumlah bakteri ( $0,409 \times 10^8$  CFU/ml). Pada bakteri *Salmonella typhimurium* yang paling optimal pada frekuensi (100 Hz) dengan jumlah bakteri ( $0,722 \times 10^8$  CFU/ml) dan waktu paparan (30 menit) dengan jumlah bakteri ( $0,8872 \times 10^8$  CFU/ml). Hal ini disebabkan membran seluler bakteri rusak, sehingga menyebabkan keluarnya materi intraseluler. Kerusakan membran seluler disebabkan oleh elektroporasi yang dapat meningkatkan potensial membran. Semakin tinggi frekuensi, maka meningkatkan tegangan transmembran semakin tinggi.

## ABSTRACT

Mawaddah, Amiliyatul. 2016. **The Design of Pulsed Electric Field with the Electrode Chip Parallel as Instrument of Deactivating Bacteria (A Case Study On Packed Milk)**. Thesis. Department of Physics, Faculty of Science and Technology of the State Islamic University of Maulana Malik Ibrahim Malang. Advisor: (I) Farid Samsu Hananto M.T (II) Drs. Abdul Basid M.Si

---

Keywords : Electric Field, Plate of parallel, High Voltage, Milk Pack, Bacteria, *Listeria monocytogenes*, *Salmonella typhimurium*

Milk is one of the staple foods which is easily contaminated by a variety of bacteria. Reduction of bacterial growth can use pulsed electric field is applied to the electrode chip parallel. This research aims to determine the effect of frequency and time exposure on bacterial growth (*Listeria monocytogenes* and *Salmonella typhimurium* bacteria). The instrument was set up using IC 555 as oscillator connected to step up transformer and high voltage transformer. IC 555 was used as timer and connected to interrupter oscillator to vary the frequency value. It was obtained voltage value (18 kV) and the output pulsed electric field (3,6 kV/cm) of each bacteria. The retrieval data were made in frequency variation (15, 25, 50 and 100 Hz) and time exposure variation (5, 10, 15, 20 and 25 minutes) of bacteria. It was obtained variation of the frequency and the time exposure had effect on colonies of bacteria growth. The most optimal frequency to decrease *Listeria monocytogenes* bacteria growth were 100 Hz, with the number bacteria ( $0,780 \times 10^8$  CFU/ml) and the exposure time was 25 minutes, with number bacteria ( $0,409 \times 10^8$  CFU/ml). The most optimal frequency to decrease *Salmonella typhimurium* bacteria growth were 100 Hz, with the number bacteria ( $0,722 \times 10^8$  CFU/ml) and the time exposure was 30 minutes with the number bacteria ( $0,887 \times 10^8$  CFU/ml). Due to a bacterial cell membranes induced by Electroporation, it increased the membrane potential. In conclusion the higher frequency, the higher transmembrane of voltage.

## ملخص

عملية المودة، تصميم المجال الكهربائي مع قطب الكهربائي الرقاقة الموازية كأداة التعطيل البكتيريا (دراسة حالة على الحليب التغليف). بحث جامعي. قسم الفيزياء. كلية العلوم والتكنولوجيا. جامعة الإسلامية الحكومية مولانا مالك إبراهيم مالانج.

المشرف: فريد سامسو حانتو، الماجستير، و عبد الباسط، الماجستير

كلمات الرئيسية: الحقل الكهربائي، ورقاقة الموازية، الجهد العالي، الحليب التغليف، والبكتيريا، *Listeria monocytogenes*، *Salmonella typhimurium*

نشأت أداة التعطيل البكتيريا مع قطب الكهربائي الرقاقة الموازية لتعطيل البكتيريا متنوعة في الحليب التغليف. حصلت الحقل الكهربائي من دائرة الجهد عالية باستخدام لفائف الاشتعال. البحث التي تستخدم البكتيريا *Listeria monocytogenes* وبكتيريا *Salmonella typhimurium*. تحدف لتحديد تأثير التردد والوقت التعرض للبكتيريا *Listeria monocytogenes*، *Salmonella typhimurium* عملية صنع الأداة باستخدام IC 555 كما المذبذب التي متصل محول خطوة متابعة ومحول الجهد العالي. استخدام الموقت IC 555 كمذبذب القاطع لتغيير قيمة التردد. الحصول على قيمة كيلو فولت الجهد الناتج 18 كيلو فولت والحقل الكهربائي 3.6 كيلو فولت / سم. عملية التعرض على عينات حليب من 25 مل بين الصفيحتين مع وتيرة الاختلاف من 15 هرتز؛ 25 هرتز؛ 50 هرتز؛ و 100 هرتز وزمن التعرض 5 دقائق. 10 دقائق؛ 15 دقائق. 20 دقائق. 25 دقائق. و 30 دقائق، وبعد التعرض للبكتيريا والمخفف بالماء المقطر كانت تزرع على PCA المتوسطة والمحتضنة لمدة 24 ساعات لتحسب عدد المستعمرات. تظهر نتائج الاختبار من هذه الدراسة وتيرة الاختلاف ومدة التعرض الوقت يؤثر على عدد من مستعمرات البكتيريا في الحليب التغليف. تثبيط البكتيريا *Listeria monocytogenes* الأمثل على تردد 100 هرتز عدد من مستعمرات يعني  $0,780 \times 10^8$  CFU / مل وزمن التعرض 25 دقائق من كمية البكتيريا  $0,409 \times 10^8$  CFU / مل. في بكتيريا *Salmonella typhimurium* هو الأكثر مثالية على تردد 100 هرتز يعني بكتيريا  $0,722 \times 10^8$  CFU / مل و 30 دقائق من كمية البكتيريا  $0,8872 \times 10^8$  / مل. ويرجع ذلك إلى فواصل البكتيريا أسفل أعشية الخلايا وهذا يسبب افراز مادة داخل الخلايا. تلف الغشاء الخلوي الناجم عن الكهربائية للزيادة إمكانات عبر الغشاء. وارتفاع التردد، وارتفاع عبر الغشاء.

## BAB I PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Penduduk Indonesia yang semakin waktu semakin bertambah menjadikan permintaan akan kebutuhan pangan semakin meningkat. Hal ini menyebabkan industri pangan semakin dibutuhkan, dengan tingginya tingkat produksi pada suatu industri pangan akan membutuhkan pasokan pangan yang semakin meningkat pula. Pemenuhan akan kebutuhan pangan bagi seluruh penduduk menjadikan pemerintah negara mengatur mengenai kebijakan pemasokan pangan. Sumber pangan yang sangat banyak permintaanya dan masih belum optimal untuk memenuhi kebutuhan masyarakat ialah pada produk olahan susu.

Al-Qur'an telah menjelaskan sedikit mengenai susu seperti pada Surat Al-Mukminun (23): 21,

وَإِنَّ لَكُمْ فِي الْأَنْعَامِ لَعِبْرَةً نُّسْقِيكُم مِّمَّا فِي بُطُونِهَا وَلَكُمْ فِيهَا مَنَافِعُ كَثِيرَةٌ وَمِنْهَا تَأْكُلُونَ

*“Dan sesungguhnya pada binatang-binatang ternak, benar-benar terdapat pelajaran yang penting bagi kamu, Kami memberi minum kamu dari air susu yang ada dalam perutnya, dan (juga) pada binatang-binatang ternak itu terdapat faedah yang banyak untuk kamu, dan sebagian darinya kamu makan.”(Q.S. Al-Mukminun (23):21).*

Pada kata **لَعِبْرَةً** (benar-benar terdapat pelajaran yang penting) maka perhatikanlah proses penciptaan, kehidupan, dan manfaat-manfaatnya yang bisa mengantarkanmu pada keimanan, tauhid, dan ketaatan. yaitu terdapat manfaat yang sangat besar mengenai binatang-binatang ternak seperti halnya unta sapi. Pada lafadz **نُسْقِيكُم** yang berarti air susu yang keluar di antara kotoran dan darah,

kata ini ditulis dengan huruf nun yang di dhammahkan, maka maksudnya adalah seseorang memberinya minum. Tapi kalau dibaca fathah, berarti seseorang telah meminumnya. Selain itu banyak pula faedah dari hewan ternak itu sendiri berupa bulu, daging beserta manfaat yang lainnya (Tafsir Al-Qur'an Al-Aisar: 40).

Dari ayat-ayat diatas terdapat makna tersirat mengenai faedah susu yang sangat penting bagi tubuh. Pentingnya susu sebagai bahan makanan ialah karena protein susu mempunyai nilai yang sangat tinggi dan mudah dicerna oleh usus manusia, sehingga dapat digunakan untuk menutupi kekurangan unsur-unsur dari bahan makanan lainnya. Selain itu, merupakan sunatullah bahwa binatang menyusui (mamalia) menghasilkan susu sebagai makan pertama untuk keturunannya yang baru lahir. Di samping untuk kelangsungan hidup masing-masing spesies itu, susu merupakan bahan makanan yang diperlukan untuk manusia (Minarno & Hariani, 2008). Seiring pentingnya kebutuhan susu, banyak pula alternatif lainnya seperti banyaknya produk susu olahan yang kandungannya kurang lebih sama dengan susu pada perternakan.

Kebutuhan produk olahan susu di Indonesia semakin meningkat, dengan hal ini banyaknya tuntutan masyarakat yang meminta untuk olahan susu yang aman, tetap terjaga mutu dan kesegarannya. Dari kebutuhan yang telah berlebih menjadikan Indonesia tidak hanya mengandalkan produksi susu dalam negeri saja melainkan juga masih tergantung pada impor luar negeri pula.

Rataan konsumsi susu masyarakat Indonesia adalah 1,8 gram/kapita/hari, angka tersebut jauh lebih rendah dari angka konsumsi standar Widya Karya Nasional pangan dan gizi yaitu sebanyak 7,2 kg/kapita/tahun (Direktorat jendral

peternakan, 2006). Secara nasional permintaan konsumen susu dari tahun ke tahun tidak selalu diimbangi oleh produksi susu. Data menyebutkan bahwa konsumsi susu nasional sebesar 4 – 4,5 juta liter/hari tidak bisa diimbangi dengan produksi dalam negeri yang hanya mampu memenuhi sekitar 1,2 juta liter/hari (30%) sedangkan sisanya masih harus diimpor dari luar negeri (Direktorat jendral peternakan, 2006).

Selain disebabkan oleh proses pengolahan susu yang kurang efisien. Susu sendiri juga mempunyai nilai gizi yang tinggi, hal ini menyebabkan susu menjadi sangat disukai oleh mikroorganisme untuk tempat pertumbuhan dan perkembangannya sehingga dalam waktu yang sangat singkat susu menjadi tidak layak dikonsumsi bila tidak ditangani secara benar. Berkembangnya mikroorganisme di dalam susu selain menyebabkan susu menjadi rusak juga membahayakan kesehatan masyarakat sebagai konsumen akhir (Saleh, 2004).

Seperti halnya yang telah dijelaskan Allah SWT dalam Al-Quran pada Surat Al-A'raf (7):157,

الَّذِينَ يَتَّبِعُونَ الرَّسُولَ النَّبِيَّ الْأُمِّيَّ الَّذِي يَجِدُونَهُ مَكْتُوبًا عِنْدَهُمْ فِي التَّوْرَةِ  
وَالْإِنْجِيلِ يَأْمُرُهُمْ بِالْمَعْرُوفِ وَيَنْهَاهُمْ عَنِ الْمُنْكَرِ وَيُحِلُّ لَهُمُ الطَّيِّبَاتِ وَيُحَرِّمُ عَلَيْهِمُ  
الْخَبَائِثَ وَيَضَعُ عَنْهُمْ إِصْرَهُمْ وَالْأَغْلَالَ الَّتِي كَانَتْ عَلَيْهِمْ فَالَّذِينَ آمَنُوا بِهِ  
وَعَزَّوهُ وَتَصَرُّوهُ وَاتَّبَعُوا النُّورَ الَّذِي أُنزِلَ مَعَهُ أُولَئِكَ هُمُ الْمُفْلِحُونَ

*“(Yaitu) orang-orang yang mengikut Rasul, Nabi yang ummi yang (namanya) mereka dapati tertulis di dalam Taurat dan Injil yang ada di sisi mereka, yang menyuruh mereka mengerjakan yang ma`ruf dan melarang mereka dari mengerjakan yang mungkar dan menghalalkan bagi mereka segala yang baik dan mengharamkan bagi mereka segala yang buruk dan membuang dari mereka beban-beban dan belenggu-belenggu yang ada pada mereka. Maka orang-orang yang beriman kepadanya, memuliakannya, menolongnya dan mengikuti cahaya yang terang yang diturunkan kepadanya (Al Qur'an), mereka itulah orang-orang yang beruntung.” (Q.S. Al-A'raf(7):157)*

Pada ayat tersebut terdapat kalimat mengenai “*mengharamkan bagi mereka segala yang buruk*”. Menurut tafsir Quraish Shihab Dia (Muhammad) selalu mengajak kepada kebaikan dan mencegah kemungkaran. Ia pun telah menghalalkan untuk mereka setiap sesuatu yang dapat diterima oleh naluri manusia, dan mengharamkan setiap yang ditolak oleh naluri manusia, seperti halnya khamar, daging babi, riba dan segala yang diharamkan dalam Islam. Yang dimaksudkan dengan segala yang diharamkan dalam Islam dapat diartikan dengan segala sesuatu yang dapat merusak tubuh. Seperti halnya bakteri patogen yang dapat mengganggu keseimbangan metabolisme tubuh.

Kondisi cemaran mikroorganisme pada susu segar di wilayah Jawa Timur berkisar antara 3–4 juta per ml. Sedangkan berdasarkan SNI jumlah mikroorganisme pada susu segar tidak boleh lebih dari 1 juta mikroorganisme per ml. Untuk menurunkan populasi mikroba pada umumnya dilakukan menggunakan pasteurisasi thermal. Namun, penurunan mikroba menggunakan pasteurisasi termal memiliki kelemahan yaitu terdegradasi kandungan gizi dan perubahan aroma, warna dan rasa (Nurismanto, 2009).

Macam dan jumlah bakteri akan berbeda dari kelompok susu yang berbeda. Menurut SNI tahun 1997, jumlah cemaran bakteri total sekitar  $1 \times 10^6$  CFU/ml. Di samping bakterinya yang rendah, air susu harus bebas dari berbagai kotoran, mempunyai bau yang normal, serta bebas dari spora serta mikroorganisme yang dapat menyebabkan penyakit (Hadiwiyoto, 1994). Bakteri yang biasa terdapat dalam susu adalah *Streptococcus lactis*, *Aerobacter aerogenes* dan *Escherichia coli*, *Lactobacillus casei* dan *Lactobacillus acidophilus* (Jawetz

dkk., 2001), selain itu dalam susu juga sering terdapat *Micrococcus*, *Pseudomonas*, *Staphylococcus*, dan *Bacillus* (Vollk dan Wheeler, 1993). Menurut Benson (2002), jumlah bakteri dalam air susu dapat digunakan sebagai indikator pencemaran dan kualitas sanitasi. Jenis bakteri seperti *E. coli*, *Enterobacteriaceae*, *Salmonella* sp, *Listeria monocytogenesis* serta *Streptobacillus* telah lama dirumuskan sebagai mikroorganisme indikator mutu (Setyawan dan Yani, 1987).

Perkembangan teknologi telah mengembangkan sebuah alternatif yaitu pemanasan yang mampu mengurangi kandungan nutrisi pada susu dan memberikan keamanan pada produk yang dikonsumsi, seperti metode pasteurisasi dan UHT. Tetapi metode ini masih mempunyai beberapa kelemahan yaitu menimbulkan efek yang kurang menguntungkan terhadap mutu bahan pangan seperti mengurangi kadar nutrisi serta kualitas sensoris. Efek lainnya yaitu memerlukan daya listrik yang cukup besar untuk pengoperasiannya. Dikarenakan banyaknya kekurangan maka dilakukan pengembangan agar menjadikan produk yang lebih aman, hemat energi dan tetap efektif untuk memperoleh kualitas susu yang baik. Menurut Zang (1997) yang telah mempelopori pengembangan metode baru untuk mengatasi permasalahan tersebut, yaitu melalui teknologi pengawetan pangan tanpa melibatkan panas, berupa teknologi medan pulsa listrik (pulsed electric field).

Alternatif yang sering digunakan yaitu menggunakan proses non-thermal, yakni dengan pulsa tegangan tinggi atau pulsa medan listrik (PEF). Medan listrik ini sangat berpotensi baik untuk penonaktifan bakteri dengan menggunakan medan listrik pulsa bertegangan tinggi. Menurut Ayu, 2015 telah dilakukan

pemaparan medan listrik untuk menghambat pertumbuhan biofilm *Listeria monocytogenes*, menunjukkan penghambatan pertumbuhan bakteri yaitu pada kuat medan 3.5 kV/cm dengan lama pemaparan 25 menit dan suhu lingkungan 50 °C dengan jumlah koloni sebesar  $0.2 \times 10^8$  CFU/ML. Selain itu, manfaat medan listrik dapat digunakan untuk mempercepat transfer air selama operasi pengeringan, serta meningkatkan ekstraksi senyawa berharga (seperti antioksidan, pewarna atau rasa) dari bagian dalam sel.

Medan listrik berpulsa sendiri ialah suatu medan dengan tahanan yang sangat tinggi menjadi pola perkembangan bakteri yang semakin menurun, hal ini di perkuat dengan pendapat Tirono, 2013 penghambatan pengembiakan bakteri dapat menggunakan medan listrik ac didasarkan pada terjadinya elektroporasi pada membran sel bakteri, sehingga menyebabkan pori *irreversibel* dan *reversibel* tergantung dari intensitas. Elektroporasi terjadi karena medan listrik menyebabkan pergeseran muatan pada sel bakteri, sehingga terpolarisasi. Polarisasi muatan menyebabkan terbentuknya pori hidrofilik dan peningkatan tegangan tansmembran. Tingginya tegangan transmembran menyebabkan rusaknya membran sel dan dengan adanya pori hidrofilik menyebabkan aliran materi intraseluler.

Selain itu, penggunaan *pulsed electric field* PEF menurut Setiawan dkk, 2014 menggunakan elektroda berjenis Co-Axial telah berhasil dibuat dan telah mendapatkan hasil pengujian. Hasil pengujian tegangan keluaran pada PEF mencapai 20.25 kV. Sedangkan bentuk gelombang dari PEF ini ialah gelombang kotak, dengan frekuensi kerja 3 kHz, dan mempunyai lebar pulsa 160  $\mu$ s.

Berdasarkan uraian dari latar belakang diatas, penggunaan penggunaan medan listrik sangat perlu digunakan dan mencari keefisienan bahan yang lebih optimal dalam keluaran pada medan listrik berpulsa, maka peneliti akan melakukan modifikasi pada elektroda Co-Axial akan diganti dengan keping sejajar yang lebih murah dan mudah didapatkan dipasaran. Dimana keping sejajar ini berfungsi sebagai tempat obyek penelitian. Pemelihan keping sejajar ini dikarenakan keping sejajar adalah salah satu jenis kapasitor yang lebih fleksibel sehingga dapat memudahkan dalam merancang alat tersebut. Selain itu, dapat pula diatur jarak antar pelat yang akan berpengaruh pada kuat medan listrik. Semakin jauh jarak antar pelat maka kecil kuat medan listrik. Karena penambahan jarak pada elektroda yang semakin menjauh mejadikan penurunan kuat medan listrik, karena kuat medan listrik berbanding terbalik dengan jarak antar kedua muatan (Bueche, 2006).

Melihat begitu pentingnya penggunaan medan listrik berpulsa sehingga perlu dilakukan sebuah rancang bangun medan listrik berpulsa dengan eletroda keping sejajar sebagai alat penonaktifan bakteri dengan studi kasus pada susu kemasan. Sebagai upaya untuk memberdayakan industri pangan agar lebih efisien dalam pengolahannya.

### **1.1 Rumusan Masalah**

1. Bagaimana spesifikasi alat pada pembuatan medan listrik berpulsa dengan elektroda keping sejajar sebagai alat penonaktifan bakteri?
2. Bagaimana uji kuat medan listrik pada rancang bangun medan listrik berpulsa dengan elektroda keping sejajar sebagai alat penonaktifan

bakteri khususnya pada bakteri *Listeria monocytogenesis* dan bakteri *Salmonella typhimurium* ?

## 1.2 Tujuan

1. Untuk mengetahui spesifikasi alat pada pembuatan medan listrik berpulsa dengan elektroda keping sejajar sebagai alat penonaktifan bakteri.
2. Untuk mengetahui uji kuat medan listrik pada rancang bangun medan listrik berpulsa dengan elektroda keping sejajar sebagai alat penonaktifan bakteri khususnya pada bakteri *Listeria monocytogenesis* dan bakteri *Salmonella typhimurium*

## 1.3 Manfaat

1. Sebagai alat untuk mempermudah dalam meminimalisir bakteri yang terdapat pada produk olahan susu segar.
2. Sebagai pengetahuan mengenai manfaat medan listrik berpulsa yang dapat diaplikasikan untuk mengetahui pola pertumbuhan bakteri.

## 1.4 Batasan Masalah

1. Bahan yang digunakan untuk keping sejajar adalah alumunium.
2. Susu kemasan yang akan di gunakan pada kemasan yang berbahan plastik.
3. Bakteri yang akan di uji cobakan ialah bakteri *Listeria monocytogenesis* dan bakteri *Salmonella typhimurium*

## **BAB II**

### **KAJIAN PUSTAKA**

#### **2.1 Medan Listrik**

Berbagai benda di sekitar kita memiliki muatan listrik, penggunaan listrik yang semakin menjadi ketergantungan menjadikan kebutuhan akan listrik semakin meningkat. Seperti halnya berbagai barang elektronik pasti akan memerlukan listrik sebagai daya hantar atau daya serap agar dapat terus digunakan. Penggunaan listrik yang umumnya digunakan ialah pada televisi, radio, laptop dan peralatan elektronik lainnya.

Bukan hanya berbagai barang elektronik yang memiliki aliran listrik, melainkan banyak pula peristiwa sehari-hari juga penerapan dari konsep dasar kelistrikan. Seperti pada ember atau piringan hitam gosoklah benda tersebut dengan lap kain kering. Bila tangan anda didekatkan terhadap plastik yang digosokkan akan merasakan sesuatu. Kemudian plastik tersebut didekatkan dengan potongan kertas kecil-kecil yang ringan, maka kertas akan tertarik dan menempel pada plastik tersebut (Sutrisno, 1979).

Medan adalah suatu yang mempunyai harga pada tiap titik dalam ruang. Atau secara matematis, medan merupakan sesuatu fungsi kontinu dari posisi dalam ruang. Temperatur dalam ruang adalah suatu medan, yaitu medan temperatur. Karena mempunyai harga pada tiap titik dalam ruang. Besaran medan dalam hal ini adalah skalar, sehingga medan temperatur adalah medan skalar. Sedangkan medan listrik merupakan daerah atau ruang di sekitar benda

yang bermuatan listrik dimana jika sebuah benda bermuatan lainnya diletakkan pada daerah itu masih mengalami gaya elektrostatik (Sutrisno, 1979)

Perlu diketahui bahwasannya aliran listrik terjadi karena adanya elektron-elektron mengalir, yang dinyatakan dengan (Serway dan Jewett, 2012):

$$I = q/t \quad (2.1)$$

Penjelasan tentang elektron juga sudah dijelaskan dalam Q.S. As-Saba'(34): 3,

وَقَالَ الَّذِينَ كَفَرُوا لَا تَأْتِينَا السَّاعَةُ قُلْ بَلَىٰ وَرَبِّي لَتَأْتِيَنَّكُمْ عَالِمِ  
الْغَيْبِ لَا يَعْزُبُ عَنْهُ مِثْقَالُ ذَرَّةٍ فِي السَّمَاوَاتِ وَلَا فِي الْأَرْضِ  
وَلَا أَصْغَرُ مِنْ ذَلِكَ وَلَا أَكْبَرُ إِلَّا فِي كِتَابٍ مُّبِينٍ

*“Dan orang-orang yang kafir berkata: "Hari berbangkit itu tidak akan datang kepada kami". Katakanlah: "Pasti datang, demi Tuhanku Yang mengetahui yang ghaib, sesungguhnya kiamat itu pasti akan datang kepadamu. Tidak ada tersembunyi daripada-Nya seberat zarrahpun yang ada di langit dan yang ada di bumi dan tidak ada (pula) yang lebih kecil dari itu dan yang lebih besar, melainkan tersebut dalam Kitab yang nyata (Lauh Mahfuzh)"(Q.S. As-Saba' (34): 30*

Menurut Al-Qurtubi bahwa sebesar dzarrah artinya sebesar semut kecil. Maksudnya walaupun seberat dzarrah, baik yang berada di langit maupun di bumi, bahkan yang lebih kecil dari itu dan tidak lebih besar darinya, melainkan disebutkan dalam kitab yang nyata yaitu Lauh Mahfuzh. Pada kitab tersebut, Allah mencatat segala kejadian alam, tidak ada gerakan dan diamnya sesuatu yang telah atau akan terjadi di alam ini. Hal itu yang telah terdapat gambaran dan waktunya di Lauh Mahfuzh (Tafsir Al-Qur'an Al-Aisar: 34-35).

Allah SWT menjelaskan di Al-Quran pada surat Yunus (9): 61,

وَمِنْهُمْ الَّذِينَ يُؤَدُّونَ النَّبِيَّ وَيَقُولُونَ هُوَ أَدْنَىٰ أُنْزُلْنَا خَيْرٌ لَّكُمْ يُؤْمِنُ بِاللَّهِ وَيُؤْمِنُ  
لِلْمُؤْمِنِينَ وَرَحْمَةً لِلَّذِينَ آمَنُوا مِنْكُمْ وَالَّذِينَ يُؤَدُّونَ رَسُولَ اللَّهِ لَهُمْ عَذَابٌ أَلِيمٌ

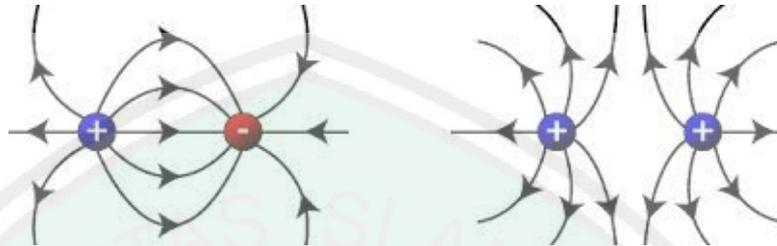
*“Di antara mereka (orang-orang munafik) ada yang menyakiti Nabi dan mengatakan: "Nabi mempercayai semua apa yang didengarnya". Katakanlah: "Ia mempercayai semua yang baik bagi kamu, ia beriman kepada Allah, mempercayai orang-orang mu'min, dan menjadi rahmat bagi orang-orang yang beriman di antara kamu". Dan orang-orang yang menyakiti Rasulullah itu, bagi mereka azab yang pedih.” (Q.S. Yunus (9):61.*

Dalam beberapa kitab terjemahan lama yang sudah dijelaskan diatas mengartikan dzarrah sesuatu yang sangat kecil sebagai semut merah atau semut hitam atau sesutu yang sangat kecil itu sebagai biji sawi. Kalau terjemahan Al-Quran dilakukan secara teksual maupun secara kontekstual disepakati maka istilah dzarrah dalam Al-Quran tidak lain adalah atom (Wardhana, 2005).

Bila disimak makna tersirat di dalam surat Yunus (Q.S. 10:61) dan surat Saba' (Q.S. 34:3), maka Al-Quran sejak abad 15 yang lalu telah mengisyaratkan bahwa dzarrah atau atom itu berukuran kecil. Memang tidak secara eksplisi (dengan tegas) dinyatakan seberapa kecilnya ukuran atom itu, tapi tersirat bahwa atom itu walaupun kecil ada ukurannya.

Rasa keinginan tahu berapa berat satu atom sebenarnya, telah mendorong para ilmuwan untuk menyelidiki lebih lanjut pengetahuan tentang atom. Seperti telah dikemukakan oleh Bohr, atom itu terbagi menjadi bagian-bagian yang lebih kecil, yaitu inti atom dan elektron-elektron yang mengelilingi inti sesuai dengan orbit masing-masing elektron. Sedangkan inti atom dibagi lagi menjadi neutron dan proton. Neutron bersifat netral dan proton bermuatan positif dan sedangkan elektron mempunyai muatan yang bersifat negatif (Wardhana, 2005). Elektron-

elektron dan proton inilah yang bisa menghasilkan aliran listrik sesuai dengan persamaan 2.1



Gambar 2.1 Dua medan listrik sederhana yang telah dipetakan dengan bantuan garis gaya (Bueche, 2006)

Mekanisme elektroporasi, ketika keadaan normal suatu membran sel bakteri akan mudah untuk tidak ditembus oleh arus listrik dan akan berfungsi sebagai kapasitor listrik saja. Penerapan medan listrik eksternal ke sel akan menjadikan membran tidak dapat ditembus oleh arus, kecuali arus kecil yang dapat mengubah membran. Jika membran potensial melebihi tingkat kritis tertentu berkisar antara 0.1-0.5 V, dapat menjadikan membran berkembang. Ketika pori-pori pada membran mengalami gangguan akan diibaratkan sebagai campuran dan perbedaan dari kerusakan dielektrik serta pecahnya membran, hal tersebut akan terjadi apabila membran diberi tegangan yang lebih tinggi. Pori-pori kecil yang memiliki ukuran berkisar 10-100 nm akan melakukan proses pembentukan yang cepat. Setelah pembentukan pori, membran mengalami pembuangan secara keseluruhan. Jika medan listrik hilang sebelum pori-pori berkembang lebih besar, membran sel dapat kembali ke keadaan semula dengan membran yang telah utuh. Proses ini dikenal sebagai pembentukan pori *reversible* atau *elektroporasi reversible* (Roodenburg, 2011).

Dalam kasus perlakuan yang lebih intensif, misalnya perlakuan yang lebih tinggi atau medan listrik bertegangan tinggi, perbesaran pori-pori yang sering disebut dengan *elektroporasi irreversible* akan terjadi di membran sel. Dalam hal ini, rasio antara permukaan pori dan permukaan membran secara keseluruhan akan menjadi lebih besar, yang menyebabkan banyak kebocoran pada sitoplasma dan sel menjadi rusak. Penyebab paling utama dari efek ini adalah membran yang mengalami kerusakan, seperti tekanan elektro-mekanis dalam membran, karena pemisahan dan kombinasi menggunakan medan listrik bertegangan tinggi relatif lebih mahal, untuk menghilangkan membran. Hal ini juga berlaku pada pemanasan lokal, ketidakseimbangan osmotik dan untuk meningkatkan transportasi ion membran (Roodenburg, 2011).

### **2.1.1 Medan Listrik pada Kapasitor Keping Sejajar**

Kapasitor merupakan komponen elektronika yang terdiri dari dua konduktor yang berdekatan tetapi terisolasi satu sama lain dan membawa muatan yang sama besar dan berlawanan. Salah satu sifat kapasitor adalah dapat menyimpan dan mengosongkan muatan listrik. Kapasitor yang digunakan pada umumnya adalah kapasitor keping sejajar yang menggunakan dua keping konduktor sejajar. Kepingan tersebut dapat berupa lapisan-lapisan logam yang tipis, yang terpisah dan terisolasi satu sama lain. Ketika kepingan terhubung pada piranti yang bermuatan misalnya baterai, muatan akan dipindahkan dari satu konduktor ke konduktor lainnya sampai beda potensial antara kutub positif (+) dan kutub negatif (-) sama dengan beda potensial antara kutub positif (+) dan

kutub negatif (-) baterai. muatan (Q) yang dipindahkan tersebut sebanding dengan beda potensial (Tipler, 1991). Dalam Q.S. Yasin (36): 36,

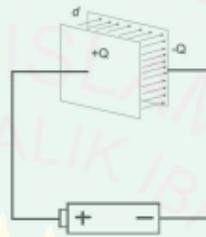
سُبْحَانَ الَّذِي خَلَقَ الْأَزْوَاجَ كُلَّهَا مِمَّا تُنْبِتُ الْأَرْضُ وَمِنْ  
أَنْفُسِهِمْ وَمِمَّا لَا يَعْلَمُونَ

*“Maha Suci Tuhan yang telah menciptakan pasangan-pasangan semuanya, baik dari apa yang ditumbuhkan oleh bumi dan dari diri mereka maupun dari apa yang tidak mereka ketahui.” (Q.S. Yasin(36): 36)*

Menurut dari berbagai pendapat mengenai penafsiran ayat ini banyak yang beranggapan bahwa Allah menciptakan segala sesuatu dengan bermacam-macam bentuk. Namun, dari kata bermacam-macam pula dapat diartikan pula dengan berpasangan-pasangan. Dalam kalimat menciptakan pasangan-pasangan semuanya pada umumnya bermakna laki-laki dan perempuan, terang dan gelap, siang dan malam, hitam dan putih, akan tetapi, terdapat pada kalimat maupun dari apa yang mereka tidak ketahui orang yaitu pasangan elektron dan positron. Positron ditulis dengan symbol  $e^+$  dan elektron ditulis dengan symbol  $e^-$ . positron mempunyai massa yang sama dengan elektron, tetapi dengan muatan listrik yang berlawanan. Adanya dua muatan listrik yang berlawanan ini, maka akan terjadi medan listrik.

Sistem yang digunakan pada rangkaian listrik sangat banyak, salah satunya kapasitor. Umumnya kapasitor terdiri dari dua plat sejajar. Hampir pada setiap elektronika seperti radio, televisi, penguat dan lainnya. Kehadiran medan listrik di sekitar bahan mengakibatkan atom-atom pada bahan membentuk momen-momen dipole listrik. Banyaknya momen-momen dipole listrik persatuan volume bahan

disebut polarisasi. Untuk menghasilkan medan listrik  $E$  yang kuat dari suatu kapasitor keping sejajar yang terdiri dari dua keping yang sama luasnya dan terpisah dengan jarak  $d$ , maka jarak  $d$  harus lebih kecil dibandingkan dengan panjang dan lebar keping. (Tipler, 1991).



Gambar 2.2 Kapasitor keping sejajar dan arah medan listrik kapasitor keping sejajar (Tipler, 1991)

Pada Gambar 2.2 kapasitor keping sejajar diberi muatan  $+Q$  pada satu keping dan muatan  $-Q$  pada keping lainnya. Garis-garis medan listrik antara keping-keping suatu kapasitor keping sejajar yang terpisah pada jarak yang sama, akan menunjukkan bahwa medan listrik bersifat seragam. Sehingga beda potensial antara bidang-bidang kapasitor sama dengan medan listrik ( $E$ ), yang ditimbulkan dengan jarak pemisah  $d$  (Tipler, 1991):

$$V = E \cdot d \quad (2.1)$$

Kapasitor adalah komponen elektronika yang dapat menyimpan muatan listrik. Struktur sebuah kapasitor terbuat dari 2 buah plat metal yang dipisahkan oleh suatu bahan dielektrik. Bahan-bahan dielektrik yang umum dikenal misalnya udara vakum, keramik, gelas dan lain-lain. Jika kedua ujung plat metal diberi tegangan listrik maka muatan-muatan positif akan mengumpul pada salah satu kaki (elektroda) metalnya dan pada saat yang sama muatan-muatan negatif terkumpul pada ujung metal yang satu lagi. Muatan positif tidak dapat mengalir

menuju ujung kutub negatif dan sebaliknya muatan negatif tidak bisa menuju ke ujung positif, karena terpisah oleh bahan dielektrik yang non-konduktif. Muatan elektrik ini tersimpan selama tidak ada konduksi pada ujung-ujung kakinya.

Dalam kebanyakan kapasitor, ruang antar kedua plat diisi dengan bahan isolator. Ini dilakukan agar harga kapasitansi mempunyai harga besar, sedangkan ukuran kapasitor cukup kecil. Dalam bahan isolator sempurna, tidak ada muatan bebas. Semua elektron terikat erat pada masing-masing atom. Bila bahan isolator ditaruh di dalam medan listrik, dalam bahan akan terbentuk dipole listrik, sehingga pada permukaan bahan akan terjadi muatan induksi. Bahan isolator juga disebut bahan dielektrik, terutama bila kita membicarakannya dari segi muatan induksi yang ditimbulkan di dalam medan listrik. Bila kita memahami sifat dielektrik, akan mudah kita memahami sifat bahan magnetik pula, karena ada analogi yang sangat dekat dalam pengertian kedua bahan ini (Sutrisno, 1979).

Banyaknya material dielektrik dapat mengurangi medan listrik yang lebih kuat tanpa kerusakan yang terdapat pada udara. Jadi penggunaan dielektrik memungkinkan sebuah kapasitor mempertahankan selisih potensial  $V$  yang lebih tinggi sehingga akan menyimpan jumlah muatan dan energi yang lebih besar. Muatan yang sama pada kapasitor-kapasitor, maka akan terlihat bahwa perbedaan potensial  $V_d$  adalah lebih kecil dari pada potensial  $V_0$  dengan faktor sebesar  $1/k$  atau

$$V_d = \frac{V_0}{k} \quad (2.2)$$

Sehingga dapat disimpulkan dari hubungan  $C=q/V$ , bahwa efek dielektrik adalah untuk memperbesar kapasitansi dengan faktor sebesar  $k$ . Untuk sebuah kapasitor plat sejajar dapat dituliskan, bahwa:

$$C = \frac{k \epsilon_0 A}{d} \quad (2.3)$$

Pada persamaan diatas (2.4) memperlihatkan bahwa kapasitansi dari semua jenis kapasitor semakin besar dengan faktor sebesar  $k$  jika ruang diantara plat-plat tersebut diisi dengan sebuah bahan dielektrik. Kapasitansi awal  $C_0$  diberikan oleh  $C_0 = Q/V_0$  dan kapasitansi  $C$  dengan adanya bahan dielektrik adalah  $C = Q/V$ . Muatan  $Q$  adalah sama dengan kedua kasus, dan  $V$  lebih kecil dari pada  $V_0$ , sehingga kita menyimpulkan bahwa kapasitansi  $C$  dengan adanya dielektrik adalah lebih besar dari pada  $C_0$ . Bila ruang di antara plat-plat diisi sepenuhnya oleh dielektrik, maka rasio  $C$  terhadap  $C_0$  (yang sama dengan rasio  $V_0$  terhadap  $V$ ) disebut konstanta dielektrik material itu,  $K$ :

$$K = \frac{C}{C_0} \quad (2.4)$$

Dimana nilai dari  $K$  akan berbeda-beda sesuai dari bahan materialnya. Berikut ini ialah nilai konstanta dielektrik pada masing-masing material ditunjukkan pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Nilai konstanta dielektrik

Material	K
Ruang hampa	1
Udara (1 atm)	1,00059
Udara (100 atm)	1,0548
PET	1,5-3,5
HDPE	2-2,5
PVC	3-6
LDPE	2-2,5
PP	2,2-2,8
Kertas	2-2,5
Kaca	3-10

Sumber: Roodenburg, Bart 2011

## 2.2 Sumber Tegangan Tinggi

Perkembangan sistem tenaga listrik yang pesat membutuhkan transmisi tegangan tinggi. Pembangkit tegangan tinggi terbagi menjadi pembangkit tegangan tinggi bolak balik, pembangkit tegangan tinggi searah, dan pembangkit tegangan tinggi implus (Arismunandar, 2001).

### 2.2.1 Sumber Tegangan Tinggi AC

Sekarang ini saluran transmisi dan distribusi bekerja pada tegangan AC, karena itu kebanyakan peralatan uji / test equipment berhubungan dengan tegangan tinggi AC untuk membangkitkan tegangan tinggi AC untuk keperluan pengujian dan percobaan digunakan transformator uji, meskipun peralatan didalam suatu sistem umumnya memakai sistem 3-fasa, dalam hal pengujian tegangan tinggi AC digunakan Trafo uji 1-fasa. Trafo uji untuk keperluan ini memiliki daya relative lebih kecil dari trafo daya. Bagian utama trafo uji adalah isolasi, yang digunakan untuk mengisolir kumparan tegangan tinggi dengan inti, tangki, dan kumparan tegangan rendah. Harga suatu trafo uji terutama ditentukan oleh harga isolasinya. Isolasi ini dirancang agar mampu memikul tegangan maksimum yang dibangkitkan. Saat trafo uji bekerja, terjadi terpaan elektrik pada isolasinya. Tebal isolasi yang digunakan pada trafo uji sebanding dengan terpaan elektrik yang dipikul isolasi tersebut. Jika terpaan elektrik yang dipikul suatu isolasi semakin besar, maka isolasi harus semakin tebal sehingga volume isolasi semakin banyak (Kuffel, dkk. 2000). Oleh karena itu, terpaan elektrik pada isolasi pada trafo uji harus diusahakan sekecil mungkin agar isolasi yang digunakan juga sesedikit

mungkin. Konstruksi lilitan dan isolasinya harus dirancang sedemikian rupa sehingga dihasilkan terpaan elektrik merata.

Tegangan tinggi AC ini dapat dibangkitkan dengan menggunakan trafo tegangan tinggi. Trafo uji hanya digunakan untuk daya yang kecil tetapi dengan nilai tegangan yang besar, trafo ini biasanya digunakan untuk pengujian jangka pendek untuk peralatan tegangan tinggi. Desain dari trafo uji ini mirip dengan trafo tegangan yang digunakan untuk mengukur daya dan tegangan pada saluran transmisi, kerapatan fluks yang rendah dipilih agar tidak menimbulkan arus magnetisasi yang besar yang sebaliknya akan memenuhi inti besi dan menimbulkan harmonisa yang tinggi. Tegangan tinggi bolak-balik banyak dipergunakan untuk pengujian peralatan listrik, untuk pengujian, pembangkitan tegangan searah dan impuls (Naidu dan Kamaraju. 1996). Pembangkitan tegangan tinggi bolak-balik dapat mempergunakan trafo dengan perbandingan belitan yang tinggi jenis dua belitan dan jenis tiga belitan (untuk keperluan rangkaian kaskade). Trafo tegangan tinggi bolak-balik untuk keperluan pengujian mampu menghasilkan tegangan yang sangat tinggi namun menghasilkan daya yang kecil. Untuk keperluan pengujian peralatan tegangan tinggi kapasitif seperti kabel tegangan tinggi, kondensator atau pengujian peralatan berisolasi gas SF<sub>6</sub> yang memiliki daya reaktif yang besar dilakukan cara kompensasi disisi primer atau sekunder dengan menggunakan rangkaian resonansi seri. Untuk membangkitkan tegangan tinggi AC dibutuhkan banyak peralatan, antara lain sumber tegangan AC 220 V, Regulator tegangan, Trafo Tegangan Tinggi, Resistor Tegangan Tinggi,

Kapasitor, Konektor, Elektroda Bola-Bola, Operating Terminal, Digital Measuring Instrument (DMI), dan Jumper.

Tegangan tinggi AC umumnya digunakan di laboratorium untuk pengujian dan percobaan dengan tegangan DC dan tegangan impuls. Perbedaan transformator uji dengan transformator daya adalah kapasitas dayanya rendah, akan tetapi ratio lilitannya tinggi. Transformator tegangan tinggi terdiri dari : Kumparan sekunder, satu terminal pada level yang rendah dekat potensial tanah dan terminal lainnya terisolasi dengan tanah sebagai terminal tinggi. Serta Kumparan primer yang dihubungkan dengan tegangan rendah (Kuffel, 2000).

### 2.2.2 Sumber Tegangan Tinggi DC

Pembangkit tegangan tinggi DC umumnya banyak digunakan dalam fisika terapan seperti instrumen dalam bidang nuklir (akselerator, mikroskop elektron), peralatan elektromedik (x-ray), peralatan industri (presipitat dan penyaringan gas buang di pembangkit listrik, industri semen, pengecatan elektrostatik dan pelapisan serbuk) atau elektronika komunikasi (televisi). Kebutuhan bentuk tegangan, tingkat tegangan dan besar arus serta kestabilan dari pembangkit tegangan tinggi tersebut akan berbeda satu aplikasi dengan lainnya (Cooper and Sahat, 1993).

Tegangan tinggi DC banyak digunakan untuk pengujian dan penelitian susunan isolator dengan kapasitansi fungsi seperti kabel dan kapasitor. Pemanfaatan tegangan tinggi DC banyak dijumpai pada instalasi elektrostatik (penyaring gas buang, peralatan pengecatan), peralatan kedokteran (alat rontgen) dan pada fisika inti (pemercepat muatan). Pada umumnya pembangkitan tegangan

tinggi searah dilakukan dengan penyearahan tegangan tinggi bolak-balik melalui dioda Selenium, Germanium dan Silizium. Dioda Selenium memiliki volume yang lebih besar, efisiensi yang rendah dan kapasitas penyaluran arus yang rendah.

Tegangan tinggi searah banyak digunakan untuk pengujian dan penelitian susunan isolator dengan kapasitansi fungsi seperti pada kabel atau kondensator. Pemanfaatan tegangan tinggi searah dapat dijumpai pada instalasi elektrostatik, pada peralatan kedokteran dan pada fisika inti (Yohanes, 1979).

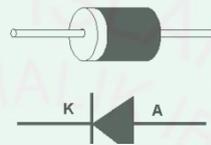
Pada umumnya pembangkitan tegangan tinggi searah dilakukan dengan penyearahan tegangan tinggi bolak balik melalui dioda, kemudian dapat dilipat gandakan tingginya. Sedangkan generator elektrostatis sangat jarang digunakan. sebagai dioda penyearah biasa digunakan bahan selenium, germanium dan silizium. Dioda selenium memiliki volume yang lebih besar, efisiensi yang rendah dan kapasitansi penyaluran arus yang rendah. Akan tetapi dioda sedemikian ini dapat menahan tegangan bolak balik sampai 600 kV tanpa kondensator pengarah tegangan, karena kapasitansi lapisan dioda yang tinggi. Ada beberapa macam rangkaian pelipat ganda tegangan antara lain Vilard, Greincher, Kaskade Greincher (Dieter dan Hermann, 1989).

### **2.2.3 Komponen Tegangan Tinggi**

Komponen tegangan tinggi yang terdapat pada tiap jenis kendaraan bermotor khususnya motor bensin 4 langkah memiliki karakteristik yang berbeda. Namun demikian tiap-tiap sumber tegangan tinggi memiliki suatu komponen kelistrikan yang sama, antara lain (L.Tobing, 2003):

a. Dioda

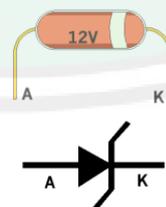
Dioda merupakan suatu komponen semi konduktor yang berfungsi untuk mengijinkan arus mengalir di dalam sebuah rangkaian hanya dalam satu arah (*forward bias*), yaitu dari anoda ke katoda dan meblokirnya saat mengalir dalam arah yang berlawanan (*reverse bias*) (Susanto, 2006).



Gambar 2.3 Dioda dan simbol dioda (Susanto, 2006).

b. Dioda Zener

Dioda *zener* merupakan jenis dioda yang memiliki sifat dioda hanya bila tegangan kerjanya (beda potensial di antara kedua kakinya) belum melampaui tegangan tembusnya (*breakdown voltage*). Bila tegangan kerjanya melampaui tegangan tembusnya, dioda ini akan kehilangan sifat ke-dioda-annya. (Jama & Wagino: 2008: 103). Hal ini yang membedakan dioda zener dengan dioda biasa yang pada umumnya menyearahkan arus listrik ke suatu rangkaian (Susanto, 2006).



Gambar 2.4 Dioda zener dan simbol dioda zener (Susanto, 2006).

c. Transistor

Transistor merupakan kependekan dari *transfer resistor*, atau suatu komponen elektronika yang dapat mengalirkan atau memutuskan aliran arus yang besar

dengan pengendalian arus listrik yang relatif sangat kecil, dengan mengubah resistansi lintasannya. (Jama & Wagino: 2008:104). Di dalam sistem komunikasi transistor digunakan sebagai penguat untuk memperkuat sinyal. Di dalam rangkaian elektronik transistor digunakan untuk sakelar elektronik laju tinggi. Transistor adalah komponen tiga terminal. Ketiga terminal tersebut adalah Basis (B), Kolektor (C), dan Emitor (E). Ada dua jenis transistor yaitu pnp dan npn (Susanto, 2006).



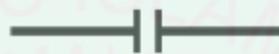
Gambar 2.5 Simbol transistor jenis pnp dan npn (Susanto, 2006).

Transistor di dalam CDI digunakan untuk saklar masuk tegangan yang menuju ke kumparan. Prinsip kerja transistor adalah apabila arus mengalir pada basis, maka arus yang lebih besar akan mengalir melalui kolektor dan emitor. Apabila tidak ada arus dari basis, maka kolektor dan emitor tidak tersebut dapat mengalirkan arus listrik. Bila arus mengalir dari kolektor ke emitor maka transistor tersebut jenis npn. Bila arus tersebut mengalir melalui emitor ke kolektor maka transistor tersebut jenis pnp (Susanto, 2006).

#### d. Kapasitor

*Kapasitor* merupakan komponen listrik yang dapat menyimpan energi listrik dalam jangka waktu tertentu. Sebuah kapasitor terdiri dari dua penghantar, di mana satu dengan yang lain dipisahkan dengan bahan isolator yang disebut *dielektrikum*. Kapasitor akan bekerja bila terjadi rangkaian tertutup antara

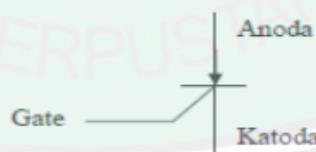
kedua kakinya dan akan melepaskan muatan yang disimpannya melalui kaki yang sama pula. Kapasitor melakukan penyimpanan sampai penuh dan setelah penuh, kapasitor tidak akan bekerja lagi. Besarnya kapasitor tergantung dari luas penghantar, tebal *dielektrikum* dan jenis *dielektrikum* yang dipakai (Susanto, 2006).



Gambar 2.6 Simbol kapasitor (Susanto, 2006).

e. *Silicon Controller Rectifier* (SCR)

SCR (*Silicon Controller Rectifier*) pada prinsipnya terdiri dari beberapa dioda dengan tambahan satu elektroda yang dinamakan gate yang disingkat “G”. Adapun prinsip kerjanya dari SCR adalah apabila ada arus yang melewati kaki gate dan berhubungan dengan katoda, maka kaki anoda dan katoda akan terhubung sehingga SCR tersebut dapat meneruskan arus. Jadi fungsi SCR disini sebagai *thyristor switch* (Susanto, 2006).



Gambar 2.7 Simbol *Silicon Controller Rectifier* (SCR) (Susanto, 2006).

f. *Ignition timing control circuit*

*Ignition timing control circuit* berfungsi untuk mengatur waktu pengapian secara elektronik. Ketika putaran mesin rendah, waktu pengapian dekat dengan titik mati atas (TMA). Begitu putaran tinggi, waktu pengapian dimajukan atau lebih awal (Susanto, 2006).

### 2.3 Osilator

Osilator merupakan peralatan penting dalam komunikasi radio. Pada dasarnya osilator merupakan penguat sinyal dengan umpan balik positif dimana rangkaian resonansi sebagai penentu frekuensi osilator (Malvino, 1996).

Osilator ialah rangkaian yang dapat menghasilkan sinyal output tanpa adanya sebuah sinyal input yang diberikan. Keluaran osilator bisa berupa bentuk sinusoida, persegi, dan segitiga. Osilator berbeda dengan penguat, karena penguat memerlukan syarat untuk menghasilkan syarat keluaran, dalam osilator tidak ada syarat masukan melainkan ada syarat keluaran saja. (Reka, 1999).

Osilator adalah suatu alat gabungan dari elemen aktif dan elemen pasif untuk menghasilkan bentuk gelombang sinusoidal atau bentuk gelombang periodik lainnya. Suatu osilator memberikan tegangan keluaran dari suatu bentuk gelombang yang diketahui tanpa penggunaan sinyal masukan dari luar (Dwihono, 1996).

Untuk membuat sebuah osilator sinusoidal, membutuhkan penguat tegangan umpan balik positif. Gagasannya ialah menggunakan sinyal umpan-balik sebagai sinyal masuk. dengan perkataan lain, sebuah osilator adalah sebuah penguat yang telah diubah dengan umpan balik positif sehingga dapat dimanfaatkan untuk memberikan sinyal masuk. Rangkaian ini hanya mengubah energi DC dari catu daya menjadi energi AC. (Malvino, 1992).

Jenis-Jenis Osilator dapat dikelompokkan menjadi dua kelompok, yaitu osilator balikan dan osilator relaksasi. Pada suatu sistem suara, osilator balikan terjadi pada sistem yang digunakan pada suatu pertemuan. Jika mikropon terletak

terlalu dekat dengan speaker, maka sering terjadi proses balikan dimana suara dari speaker terambil kembali oleh mikropon diteruskan ke amplifier menghasilkan dengung. Kondisi ini dikenal dengan balikan mekanik. Terjadinya balikan pada sistem ini sangat tidak diharapkan, namun sistem balikan pada osilator sangat diperlukan. Osilator relaksasi utamanya digunakan sebagai pembangkit gelombang sinusoidal, Gelombang gigi gergaji, gelombang kotak dan variasi bentuk gelombang tak beraturan. Pada dasarnya osilator ini tergantung pada proses pengosongan dan pengisian jaringan kapasitor dan resistor. Perubahan tegangan pada jaringan digunakan untuk mengubah-ubah konduksi piranti elektronika. Untuk pengontrol, pada osilator dapat digunakan transistor atau IC (integrated circuit) (Sutrisno, 1985).

#### 2.4 Susu

Susu merupakan cairan yang berasal dari kelenjar susu yang diperoleh dengan cara pemerahan selama masa laktasi tanpa adanya penambahan atau pengurangan komponen apapun pada cairan tersebut. Susu secara kimiawi tersusun atas dua komponen utama, yaitu air yang berjumlah sekitar 87% dan bahan padat yang berjumlah sekitar 13%. Di dalam bahan padat terdapat berbagai senyawa kimia pada susu, baik yang tergolong senyawa zat gizi makro (makronutrien) seperti lemak, protein dan karbohidrat, maupun senyawa zat gizi mikro (mikro nutrient) seperti vitamin dan mineral serta beberapa senyawa lainnya (Muhamad, 2002).

Rasulullah SAW bersabda:

عَنْ سَعِيدِ بْنِ الْمُسَيَّبِ عَنْ أَبِي هُرَيْرَةَ رَضِيَ اللَّهُ عَنْهُ قَالَ : أَتَى رَسُولُ اللَّهِ صَلَّى اللَّهُ عَلَيْهِ وَسَلَّمَ لَيْلَةً أُسْرِيَ بِهِ بِقَدَحِ لَبَنٍ وَقَدَحِ خَمْرٍ.

*“Dari hadist Abu Hurairah RA berkata bahwa Rasulullah SAW dalam Isro’, sebelum beliau dipersilahkan naik kelangit, disuguhkan oleh Malaikat Jibril 2 macam minuman, yaitu, air susu dan khamr. Beliau memilih susu” (Ibnu Hajar, 2008).*

Susu segar adalah susu hasil pemerahan yang tidak dikurangi atau ditambahkan bahan apapun dari pemerahan susu sapi yang sehat. Kriteria untuk air susu sapi yang baik harus memenuhi hal-hal berikut ini: (i) bebas dari bakteri patogen, (ii) bebas dari zat-zat berbahaya ataupun toksin seperti insektisida, (iii) tidak tercemar oleh debu dan kotoran, (iv) zat gizi tidak menyimpang dari codex air susu, dan (v) memiliki cita rasa normal (Resnawati, 2010).

Susu merupakan bahan pangan yang bernilai gizi tinggi yang dikenal sebagai bahan yang tidak tahan lama dan mudah rusak (*perishable food*), hal ini disebabkan karena susu mempunyai kandungan air yang tinggi, pH yang mendekati normal dan kandungan nutrisinya yang tinggi (Ekawasti, 2006).

Susu dinyatakan steril apabila masih berada di dalam kelenjar susu. Namun, apabila sudah terkena udara, susu sudah tidak bisa dijamin kesterilannya. Adapun syarat susu yang baik atau susu segar meliputi banyak faktor, seperti warna, rasa, bau, berat jenis, kekentalan, titik beku, titik didih, dan tingkat keasaman (Yulias, 2009).

Susu juga bisa terkontaminasi oleh mikroorganisme penyebab penyakit menular pada manusia seperti tuberculosis, difteri, dan tifus. Oleh karena itu, susu harus ditangani secara baik dan memenuhi syarat-syarat kualitas dari pemerintah.

Dalam melindungi konsumen susu, pemerintah dalam hal ini Dinas Peternakan, selalu mengadakan pengawasan peredaran susu, kesehatan sapi perah dan ternak perah petugas yang terlibat pada penanganan susu dan bahan makanan ternak (Sumoprastowo, 2000).

Selain itu, susu merupakan salah satu bahan pangan yang kaya akan gizi. Kandungan protein, glukosa, lipida, garam mineral, vitamin dengan pH sekitar 6,80 menyebabkan mikroorganisme mudah tumbuh dan berkembang biak dalam susu. Secara alami, susu mengandung mikroorganisme kurang dari  $5 \times 10^3$  per ml jika diperah dengan cara yang benar dan berasal dari sapi yang sehat (Jay, 1996). Beberapa bakteri seperti *Listeria monocytogenes*, *E.coli*, dan *Salmonella* sp. Dilaporkan mengkontaminasi susu dengan prevalensi kecil (Jayarao *et. al.*, 2006). Batas maksimum cemaran mikroba, khususnya pada produk susu segar berdasarkan SNI 01-6366-2000 disajikan pada tabel 2.2.

Tabel 2.2 Batas Cemaran Mikroba Maksimal dalam Susu Segar Berdasarkan SNI 01-6366-2000 (BSN, 2011).

Parameter	Kriteria
Total Plate Count (TPC)	$1 \times 10^6$ cfu/ml
Koliform	20/ml
<i>Staphylococcus aureus</i>	$1 \times 10^2$ cfu/ml
<i>Escherichia coli</i>	Negatif
<i>Salmonella</i> sp	Negatif
<i>Listeria monocytogenes</i>	Negatif
<i>Strepto coccus</i> group B	Negatif

## 2.5 Bakteri

Bakteri merupakan organisme yang sangat kecil (mikroskopik) dan pada umumnya uniseluler (bersel tunggal), dengan struktur selnya yang relatif sederhana tanpa nukleus/inti sel, *cytoskeleton*, dan organel lain seperti

mitokondria dan kloroplas. Istilah bakteri berasal dari kata latin *bacterium* (jamak, *bacteria*), yaitu kelompok terbanyak dari organisme hidup (Champbell, 2002).

Bakteri tersebar di mana-mana antara lain di air, tanah, dan sebagai simbiosis dari organisme lain. Pada umumnya bakteri berukuran 0,5-5  $\mu\text{m}$ . Bakteri tersusun atas dinding sel sama halnya seperti sel hewan dan jamur, akan tetapi dengan komposisi yang sangat berbeda (*peptidoglikan*). Banyak dari bakteri yang bergerak dengan menggunakan flagela, yang berbeda dalam strukturnya dari flagela, kelompok lain (Atlas, 1993). Seperti halnya dalam Al-Qur'an pada Surat Al-Baqarah (2): 26,

إِنَّ اللَّهَ لَا يَسْتَحْيِي أَنْ يَضْرِبَ مَثَلًا مَّا بَعُوضَةً فَمَا فَوْقَهَا فَأَمَّا الَّذِينَ آمَنُوا فَيَعْلَمُونَ أَنَّهُ الْحَقُّ مِنْ رَبِّهِمْ وَأَمَّا الَّذِينَ كَفَرُوا فَيَقُولُونَ مَاذَا أَرَادَ اللَّهُ بِهَذَا مَثَلًا يُضِلُّ بِهِ كَثِيرًا وَيَهْدِي بِهِ كَثِيرًا وَمَا يُضِلُّ بِهِ إِلَّا الْفَاسِقِينَ

“*Sesungguhnya Allah tiada segan membuat perumpamaan berupa nyamuk atau yang lebih rendah dari itu. Adapun orang-orang yang beriman, maka mereka yakin bahwa perumpamaan itu benar dari Tuhan mereka, tetapi mereka yang kafir mengatakan: "Apakah maksud Allah menjadikan ini untuk perumpamaan?" Dengan perumpamaan itu banyak orang yang disesatkan Allah, dan dengan perumpamaan itu (pula) banyak orang yang diberi-Nya petunjuk. Dan tidak ada yang disesatkan Allah kecuali orang-orang yang fasik*” (Q.S. Al-Baqarah(2): 26)

Menurut Asy-Syaukani (2008), lafadz *famaa fauqoha* (atau yang lebih rendah dari itu) pada ayat di atas maksudnya apa yang lebih kecil dari pada nyamuk dari segi makna dan fisik, mengingat nyamuk adalah makhluk kecil dan tidak berarti. Adapun hewan yang lebih kecil dari nyamuk, antara lain adalah bakteri. Bakteri merupakan organisme prokariotik. Umumnya ukuran bakteri sangat kecil, bentuk tubuh bakteri baru dapat di lihat dengan menggunakan mikroskop dengan pembesaran 1.000 X atau lebih (Waluyo, 2004).

### 2.3.1 Bakteri Patogen pada Susu

Susu dapat tercemar oleh bakteri patogen atau nonpatogen yang berasal dari sapi itu sendiri, peralatan pemerahan, ruang penyimpanan yang kurang bersih, debu, udara, lalat dan penanganan oleh manusia (Volk dan Wheeler, 1990). Pertumbuhan mikroba dalam susu dapat menurunkan mutu keamanan pangan susu umumnya ditandai oleh perubahan rasa, aroma, warna, konsistensi dan penampakan. Bakteri patogen yang sering dan masih banyak ditemukan pada susu adalah bakteri *Listeria monocytogenes* dan bakteri *Salmonella typhimurium*. Pemilihan bakteri yang akan diuji pada penelitian ini yaitu dengan mengambil dua sampel bakteri. Dimana pada masing-masing bakteri ini yang di pakai adalah bakteri *Listeria monocytogenes* sebagai bakteri gram positif dan bakteri *Salmonella typhimurium* sebagai bakteri gram negatif. Telah dijelaskan perbedaan bakteri gram positif dan gram negatif seperti pada tabel 2.3 di bawah ini.

Tabel 2.3 Perbedaan bakteri Gram Positif dan Bakteri Gram Negatif(Chambel,2002)

<b>Perbedaan</b>	<b>Bakteri gram positif</b>	<b>Bakteri gram negative</b>
Dinding sel:Lapisan peptidoglikanKadar lipid	Lebih tebal (20-80nm)1-4 %	Lebih tipis11-22 %
Resistensi terhadap alkali(1 % KOH)	Tidak larut	Larut
Kepekaan terhadap Iodium	Lebih peka	Kurang peka
Toksin yang dibentuk	Eksotoksin	Endotoksin
Bentuk sel	Bulat, batang atau filamen	Bulat, ova, batang lurus atau melingkar seperti tanda koma, heliks atau filament, beberapa mempunyai selubung atau kapsul
Reproduksi	Pembelahan biner	Pembelahan biner, kadang-kadang pertunasan
Metabolisme	Kemoorganoheterotrof	Fototrof, kemolitoautotrof, atau kemoorganoheterotrof
<b>Perbedaan</b>	<b>Bakteri gram positif</b>	<b>Bakteri gram negative</b>
Resistensi terhadap tellurit	Lebih tahan	Lebih peka

Sifat tahan asam	Ada yang tahan asam	Tidak ada yang tahan asam
Kepekaan terhadap penisilin	Lebih peka	Kurang peka
Kepekaan terhadap streptomisin	Tidak peka	Peka
Motilitas	Kebanyakan nonmotil, bila motil tipe flagelanya adalah petritikus (petritrichous)	Motil atau nonmotil. Bentuk flagella dapat bervariasi
Anggota tubuh	Biasanya tidak memiliki apandase	Dapat memiliki pili, fimbriae, tangkai
Endospora	Beberapa grup dapat membentuk endospora	Tidak dapat membentuk endospore
Penghambatan warna basa	Lebih dihambat	Kurang dihambat
Kebutuhan nutrisi	Kompleks	Relatif sederhana
Ketahanan terhadap perlakuan fisik	Lebih tahan	Kurang tahan

#### 1) Bakteri *Listeria monocogenis*

Genus *Listeria* terbesar luas di alam, dalam lingkungan peternakan, industri peternakan dan pertanian. Terdapat tujuh spesies dalam genus ini, tetapi hanya satu spesies yaitu *L. monocogenis* yang bersifat patogenik pada manusia (Lund, 1990). Letupan listeriosis pada perusahaan sapi perah di Massachusetts pada tahun 1983 yang menimbulkan kematian sebanyak 2 orang dari 7 kasus perinatal dan 12 orang dari 42 kasus orang dewasa. *L. monocytogenes* dapat ditemukan dari susu sapi yang belum dipasteurisasi dan di dalam *filter pasteurizer*, akan tetapi tidak berhasil diisolasi dari susu yang sudah dipasteurisasi. Selanjutnya Letupan yang lain terjadi di beberapa negara dilaporkan meliputi susu segar dan produk olahannya (Lund, 1990). Dalam dua dekade tahun silam dilaporkan bahwa 45% sampel susu dari kasus mastitis pada sapi perah di Australia menunjukkan positif

terdapat *L. monocytogenes*. Dilaporkan bahwa bakteri dapat diisolasi dari susu yang sudah dipasteurisasi, keju dan es krim (Fleming, 1985).

*Listeria monocytogenes* merupakan bakteri gram positif, berbentuk batang pendek, dapat berbentuk tunggal, tersusun paralel membentuk rantai pendek atau seperti huruf V. Diameter sel berukuran 0,4 – 0,5  $\mu\text{m}$  dan panjang 0,5 – 2,0  $\mu\text{m}$ . Pertumbuhan bakteri tersebut pada media agar dengan waktu inkubasi 24 jam akan menunjukkan variabilitas bentuk sel. Pada kultur yang lebih tua tersebut bakteri tampak berbentuk *filamentous* dengan panjang 6 – 20  $\mu\text{m}$  (Sutherland, 1998). Temperatur optimal untuk pertumbuhan *L. monocytogenes* adalah 35 – 37°C. Bakteri ini mampu tumbuh pada temperatur 1 – 50°C, mampu bertahan hidup pada perkakuan pasteurisasi dengan suhu 72°C selama 15 detik dan dapat hidup pada pH 4,3 – 9,4 (Nadal *et al.*, 2007). *Listeria monocytogenes* bersifat intra-seluler fakultatif, psikotrofil dan mampu membentuk biofilm. Bakteri ini motil atau bergerak dengan flagella pada suhu 20 – 25°C, tidak membentuk spora, sangat kuat dan tahan terhadap efek mematikan dari pembekuan, pengeringan dan pemanasan.

## 2) Bakteri *Salmonella typhimurium*

*Salmonella sp.* Merupakan bakteri bahaya yang dikeluarkan dari saluran pencernaan hewan dan manusia bersamaan dengan feses. *Salmonella enteritidis* merupakan salah satu serotipe yang sering mengkontaminasi susu di samping *Salmonella typhimurium* (Sarati, 1999). Berdasarkan SNI 01-6366-2000, pemeriksaan *Salmonella sp.* dilakukan secara kualitatif dan harus negatif. Salah satu metode untuk pemeriksaan *Salmonella sp.* adalah metode AOAA.

*Salmonella* adalah bakteri pendek (1-2 $\mu$ m), Gram negatif, batang yang tidak membentuk spora, biasanya motil dengan flagella peritrisous. *Salmonella* adalah anaerob fakultatif yang secara biokimia dikarakterisasi dengan kemampuannya memfermentasi glukosa yang memproduksi asam dan gas, dan ketidakmampuannya menyerang laktosa dan sukrosa. Temperatur pertumbuhan optimumnya 38°C (Forsythe and Hayes, 1998). *Salmonella* dapat tumbuh pada aktivitas air yang rendah ( $a_w \leq 0,093$ ) yang responnya tergantung strain dan jenis pangan. *Salmonella* aktif bertumbuh pada kisaran pH 3.6 – 9.5 dan optimal pada nilai pH mendekati normal (D'aoust, 2001).

*Salmonella* bisa terdapat pada bahan pangan mentah, seperti telur dan daging ayam mentah serta akan bereproduksi bila proses pemasakan tidak sempurna. Sakit yang diakibatkan oleh bakteri *Salmonella* dinamakan salmonellosis. *Salmonella* adalah penyebab utama dari penyakit yang disebarkan melalui makanan (*foodborne diseases*). Pada umumnya, serotip *Salmonella* menyebabkan penyakit pada organ pencernaan. Orang yang mengalami salmonellosis dapat menunjukkan beberapa gejala seperti diare, kram perut, dan demam dalam waktu 8 – 72 jam setelah memakan makanan yang terkontaminasi oleh *Salmonella*. Gejala lainnya adalah demam, sakit kepala, mual dan muntah-muntah (Bradshaw, dkk. 1987)

Tiga serotipe utama dari jenis *S. Entrica* adalah *S.typhi*, *S.typhimurium*, dan *S.enteritidis*, *S.typhi* menyebabkan penyakit demam tifoid (*Typhoid fever*), karena inavasi bakteri ke dalam pembuluh darah dan gastrienteritis, yang disebabkan oleh keracunan makanan/intoksikasi. Gejala demam tufus meliputi

demam, mual-mual, muntah dan kematian. *S.typhi* memiliki keunikan hanya menyerang manusia dan tidak ada inang lain. Infeksi *Salmonella* dapat berakibat fatal kepada bayi, balita, ibu hamil dan kandungannya serta orang lanjut usia. Hal ini disebabkan karena kekebalan tubuh mereka yang menurun. Konyaminasi *Salmonella* dapat dicegah dengan mencuci tangan dan menjaga kebersihan makana yang dikonsumsi (Barrow, 2010).

### 2.3.2 Efek Biologis Bakteri yang dipapari Medan Listrik

Terdapat beberapa teori dari pakar medis yang menjelaskan tentang terjadinya kematian sel bakteri karena pengaruh dari medan listrik. Salah satu dari teori tersebut menyebutkan bahwa membran sel adalah *viscoelastic fluid* sehingga membran dapat mengalami ruptur apabila mendapatkan stress listrik. Ketika diberikan listrik dengan tegangan tertentu, akan terjadi peningkatan energi pada membran yang kemudian dapat meningkatkan ukuran pore membran dan berubah menjadi *hydrophilic pore* dimana difusi bebas dapat terjadi.

Paparan medan listrik berpulsa pada bakteri penyusun biofilm menyebabkan pergeseran muatan pada atom atau molekul, dimana yang bermuatan negatif akan bergeser ke arah elektroda positif dan sebaliknya, sehingga muatan negatif dan positif menjadi terpisah dan terbentuk dipol. Pergeseran muatan ini membuat potensial transmembran meningkat dan di sisi yang lain menurun. Ketika penipisan membran terjadi terlalu kuat, sedangkan membran bersifat homogen padat, maka akan menyebabkan terjadinya ruptur membran yang *irreversible*.

Peningkatan potensial transmembran pada sel membran *lipid bilayer* dan protein akan mempengaruhi tegangan membran yang menyebabkan porositas. Apabila peningkatan potensial transmembran tersebut mencapai ambang kritis diantara dinding membran dapat terjadi reduksi ketebalan sehingga memungkinkan terjadi kerusakan pada membran sel bakteri (Fang, 2006) sehingga pada akhirnya akan menimbulkan lubang-lubang kecil (bocor) dan kontraksi sehingga cairan tubuh akan keluar.

Dari beberapa teori yang ada, terdapat salah satu teori yang paling dapat diterima secara luas yaitu elektroporasi yang parah (pembentukan *pore*/lubang pada membran sel yang disebabkan oleh listrik tegangan tinggi), dimana terjadi instabilitas lokal pada membran mikroorganisme yang diberi aliran listrik (berakibat kompresi elektrokimia dan tekanan energi listrik).

Proses elektroporasi dapat dijelaskan sebagai suatu pengaruh medan listrik terhadap dinding membran sel (*lipoprotein*) yang dapat mengakibatkan destabilisasi temporal, peningkatan potensial transmembran, pada sel membran *lipid bilayer* dan protein, atau akan mempengaruhi tegangan membran yang menyebabkan porositas. Pengaruh medan listrik tersebut juga menyebabkan molekul *lipid reorient* sehingga menghasilkan pori *hydrophilic*. Pada kondisi potensial transmembran meningkat maka dapat mengakibatkan kebocoran pada membran *lipid bilayer*.

Elektroporasi merupakan fenomena dimana sel tersebut pecah dengan pulsa listrik bertegangan tinggi secara temporer merusak lapisan lipid dan protein dari membran sel dan akhirnya kandungan plasma dari membran sel menjadi

*permeable* terhadap molekul kecil setelah terkena medan listrik. Hal ini menyebabkan membran sel membengkak kemudian pecah. Efek utama dari pengaruh medan listrik yang diberikan pada sel mikroorganisme adalah untuk meningkatkan permeabilitas membran, dalam hal ini tekanan pada membran dan pembentukan pori. Dengan meningkatkan intensitas medan listrik dan durasi gelombang atau mengurangi kekuatan ionik dari medium maka pori akan menjadi lebar (terjadi pembentukan lubang pada membran sel) (Apriliawan, 2012).

Kejutan listrik dengan tegangan tinggi menyebabkan terjadinya modifikasi permukaan sel dimana dengan pengamatan mikroskop elektron ditemukan adanya lubang pada dinding sel, sedangkan pada sel yang dialiri listrik tidak ditemui lubang pada dinding selnya. Pengamatan dengan mikroskop elektron terhadap kondisi sel setelah diberi perlakuan kejutan listrik memiliki perbedaan sehingga dapat disimpulkan bahwa kejutan listrik dengan tegangan tinggi memberikan pengaruh terhadap kerusakan fisik sel (Gould, 1995).

## **BAB III**

### **METODE PENELITIAN**

#### **3.1 Jenis Penelitian**

Jenis penelitian yang akan dilakukan adalah membuat rancang bangun medan listrik berpulsa sebagai penonaktifan bakteri menggunakan model kapasitor keping sejajar dengan studi kasus pada olahan susu kemasan.

#### **3.2 Waktu dan Tempat**

Penelitian mengenai rancang bangun medan listrik berpulsa dengan elektroda keping sejajar sebagai penonaktifan bakteri ini, akan dilaksanakan pada bulan April sampai Juni di Laboratorium Elektronika dan Instrumentasi Jurusan Fisika dan bulan Juli dan Agustus di Laboratorium Mikrobiologi Jurusan Biologi Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.

#### **3.3 Alat dan Bahan**

##### **3.3.1 Alat**

1. Power supply 12 V 5 A
2. Osiloscope
3. Transformator
4. Coil sepeda motor
5. Komponen elektronika pendukung
  - Transistor
  - Kapasitor

- Resistor
- Dioda
- IC 555
- Kabel pelangi
- Kabel penghubung
- Potensiometer
- 6. Inkubator
- 7. Autoklaf
- 8. Colony counter
- 9. LAF (*laminar air flow*)
- 10. Perlengkapan pengamatan bakteri
  - Erlenmeyer 250 ml
  - Tabung reaksi
  - Bunsen
  - Kapas
  - Tisu
  - Botol media
  - Cawan petri
  - Spatula
  - Gelas ukur
  - Beaker glas
  - Plastik bungkus
  - Spertus

- Mikropipet
- Alumunium foil
- Plastik wrap

### 3.3.2 Bahan

1. Susu murni
2. Bakteri *Listeria monogenes*
3. Bakteri *Salmonella typhimurium*
5. Media PCA (*Plate Count Agar*)
6. Media NB (*Nutrien Borth*)

### 3.4 Tahap dan Alur Penelitian

Penelitian mengenai “Rancang Bangun Medan Listrik Berpulsa dengan Elektroda Keping Sejajar untuk Penonaktifan Bakteri (Studi Kasus Pada Susu Kemasan)”. Melalui berbagai proses sebagai berikut:



Gambar 3.1 Tahap dan Alur Penelitian

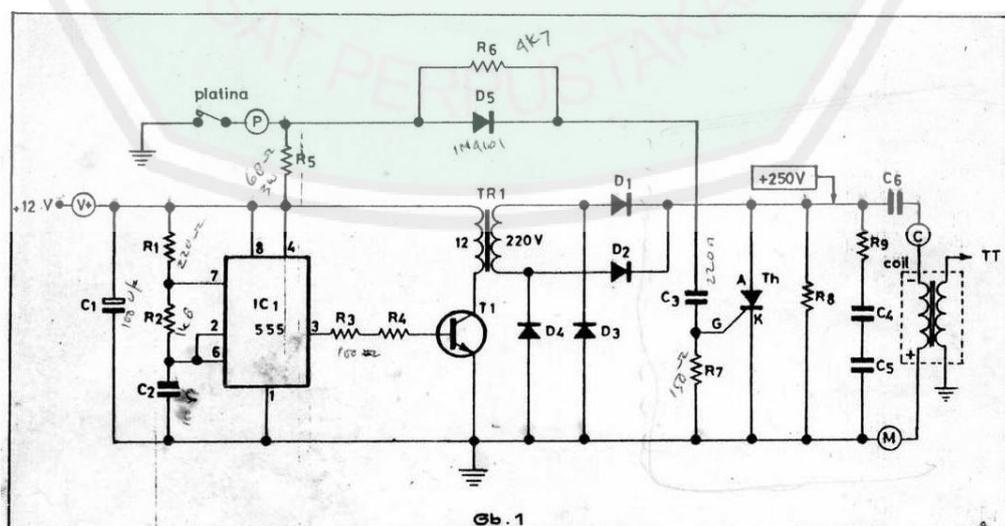
### 3.5 Perancangan Alat

Rancangan alat medan listrik berpulsa (PEF) ini akan di bagi menjadi 2 bagian yaitu Ruang perlakuan (*Treatment chamber*) dan Pembangkit pulsa tegangan tinggi.

### 3.5.1 Perancangan Pembangkit Pulsa Tegangan Tinggi

Pembangkit pulsa tegangan tinggi merupakan bagian yang sangat penting pada rancang bangun ini. Secara garis besar perancangan pembangkit pulsa tegangan tinggi pada PEF menggunakan prinsip dasar dari rangkaian CDI ini terdiri atas empat rangkaian :

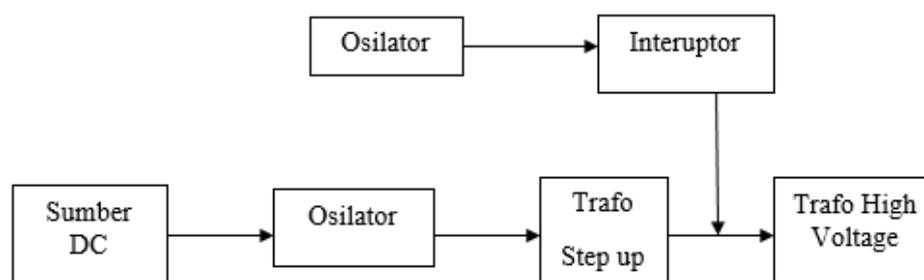
- Rangkaian power supply. Rangkaian ini digunakan untuk mensupply arus dari listrik sehingga tidak memerlukan power supply buatan pabrik.
- Rangkaian tegangan tinggi. Rangkaian ini berupa rangkaian pembangkit pulsa, dengan memvariasi frekuensi menggunakan 555 sebagai timernya.
- Rangkaian Kemudi (*Driver*). Rangkaian ini digunakan untuk mengendalikan frekuensi keluaran dari rangkaian tegangan tinggi. Arus dan frekuensi ini digunakan untuk membangkitkan tegangan tinggi pada coil.
- Rangkaian pembangkit tegangan tinggi. Rangkaian ini menggunakan coil sepeda motor sebagai komponennya.



Gambar 3.2 Rangkaian Tegangan Tinggi

Prinsip kerja dari rangkaian ini sama dengan rangkaian tegangan tinggi yaitu pertama pembuatan power supply manual dari trafo 5 A dengan tegangan keluaran 5 volt, hal ini untuk mensupply tegangan secara konsisten dan mempermudah dalam mengalirkan arus pada rangkaian. Setelah itu masuk pada rangkaian utama tegangan tinggi yang menggunakan IC 555 sebagai timer. Arus yang awalnya DC diperoleh dari power supply kemudian di ubah kembali menjadi arus AC dengan bantuan Trafo 500 mA. Dari trafo tegangan yang dihasilkan semakin tinggi sehingga disimpan pada kapasitor yang akan dinaikkan dengan transistor sebelum masuk pada coil atau pada gambar disimbolkan dengan TT. Tegangan yang telah masuk pada coil akan dinaikkan sekitar 10.000 volt. Sehingga, ketika kedua ujungnya di dekatkan akan menimbulkan loncatan bunga api.

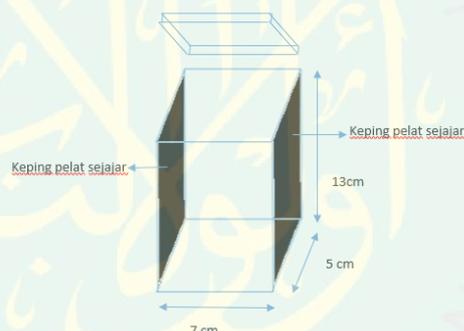
Sedangkan untuk driver atau pengendali pada rangkaian ini ditambahkan IC 555 yang berfungsi sebagai timer untuk potensiometer. Dimana, potensiometer ini dapat berfungsi untuk memvariasikan frekuensi yang akan menyebabkan loncatan bungai apai semakin cepat jika frekuensi yang dihasilkan semakin tinggi dalam persatuan detik. Skematik prinsip kerja seperti pada gambar 3.3 dibawah ini.



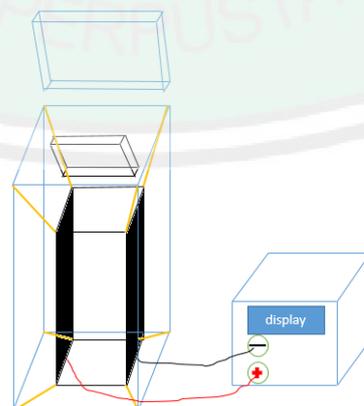
Gambar 3.3 Prinsip Kerja dari Rangkaian Tegangan Tinggi

### 3.5.2 Perancangan Tempat Perlakuan

Ruang perlakuan ini merupakan tempat untuk berlangsungnya proses pengejutian tegangan tinggi menggunakan medan listrik berpulsa tinggi atau *pulsed electric voltage*. Menggunakan keping sejajar berbahan alumunium, pemilihan bahan ini karena alumunium termasuk salah satu konduktor yang baik sehingga di upayakan dapat menghantarkan medan listrik yang tinggi. Penggunaan keping sejajar lebih efisien jika bentuk ruang perlakuan adalah balok dimungkinkan akan menghasilkan tegangan yang lebih merata dan intensif lebih besar dengan panjang 3 cm, lebar 5 cm, dan tinggi 13 cm.



Gambar 3.4 Ruang Perlakuan PEF



Gambar 3.5 Perancangan alat secara keseluruhan

### 3.5.3 Pengujian Alat

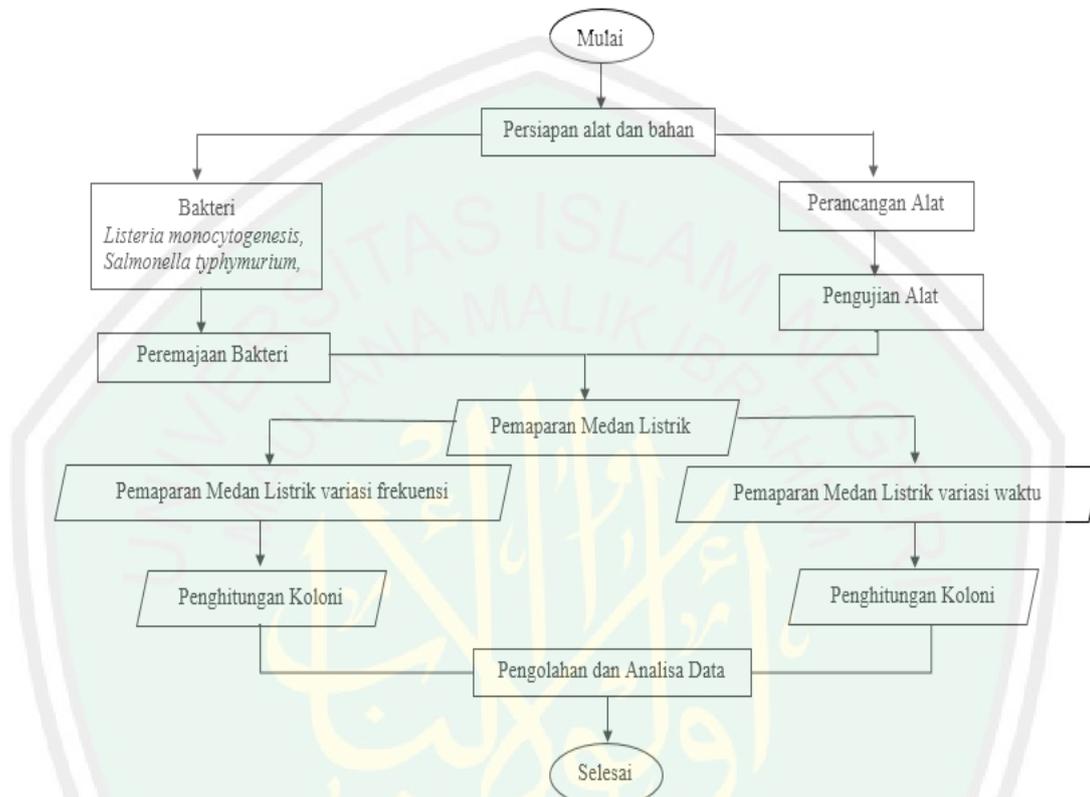
Pengujian alat bertujuan untuk mengetahui alat yang telah dirancang dapat berfungsi dengan baik dan benar. Selain itu, juga dapat untuk mengetahui berapa tegangan keluaran yang akan didapatkan dari rangkaian ini. Pengujian pertama yaitu dengan mengecek gelombang keluaran pada osiloscope pada setiap bagian rangkaian. Dimana pada rangkaian ini terdapat 2 bagian yang digunakan untuk mengetahui keluaran gelombang, yaitu pada masing-masing kaki 3 IC 555 yang akan menunjukkan bahwa alat ini berjalan dengan benar.

IC 555 yang pertama untuk menguji komponen secara keseluruhan sebelum diubah arus pada trafo 500 mA. Sedangkan untuk IC 555 yang lain yaitu menguji pada potensiometer dapat digunakan dengan benar, fungsi dari potensiometer sendiri untuk memvafiasikan frekuensi. Setelah alat dapat mengeluarkan gelombang yang benar maka selanjutnya ialah pengujian tegangan keluaran. Pengujian tegangan keluaran ini dilakukan di Laboratorium Tegangan Tinggi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Brawijaya. Hal ini dikarenakan tegangan yang akan dihasilkan sangat tinggi sehingga alat yang ada hanya di Laboratorium tersebut.

### 3.6 Teknik Pengambilan Data

Pengambilan data pada penelitian ini divariasikan pada banyaknya jenis bakteri yang diamati meliputi: *Listeria monogenesis*, *Salmonella typhymurium*, dan *Campylobacter jejuni*. Selain variasi pada jenis bakteri juga memvariasikan lama waktu pamaran selama 5 menit, 10 menit, 15 menit, 20 menit, 25 menit dan 30 menit, serta variasi terhadap besar kecilnya frekuensi yaitu 15 Hz, 25 Hz, 50

Hz, dan 100 Hz hal ini dilakukan pada masing-masing bakteri. Untuk Pengambilan Data lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 3.6



Gambar 3.6 Diagram Alir Pengambilan Data

### 3.6.1 Pengambilan Data dengan Variasi Frekuensi

Pengambilan data dengan variasi frekuensi ini dilakukan pada masing-masing bakteri. Hal ini bertujuan untuk mengetahui besar kecil frekuensi dapat mempengaruhi pada proses penghambatan bertumbuhan bakteri. Pengambilan data pada variasi frekuensi ini waktu pemaparan yang konstan selama 15 menit dengan tegangan keluaran 18 kV.

Tabel 3.1 Data dengan Variasi frekuensi pada bakteri *Listeria monogeneses*

No.	Frekuensi (Hz)	Jumlah koloni (CFU/ml)	Kontrol
1	15		
2	25		
3	50		
4	100		

Tabel 3.2 Data dengan Variasi frekuensi pada bakteri *Salmonella typhimurium*

No.	Frekuensi (Hz)	Jumlah koloni (CFU/ml)	Kontrol
1	15		
2	25		
3	50		
4	100		

### 3.6.2 Pengambilan Data dengan variasi waktu pemaparan

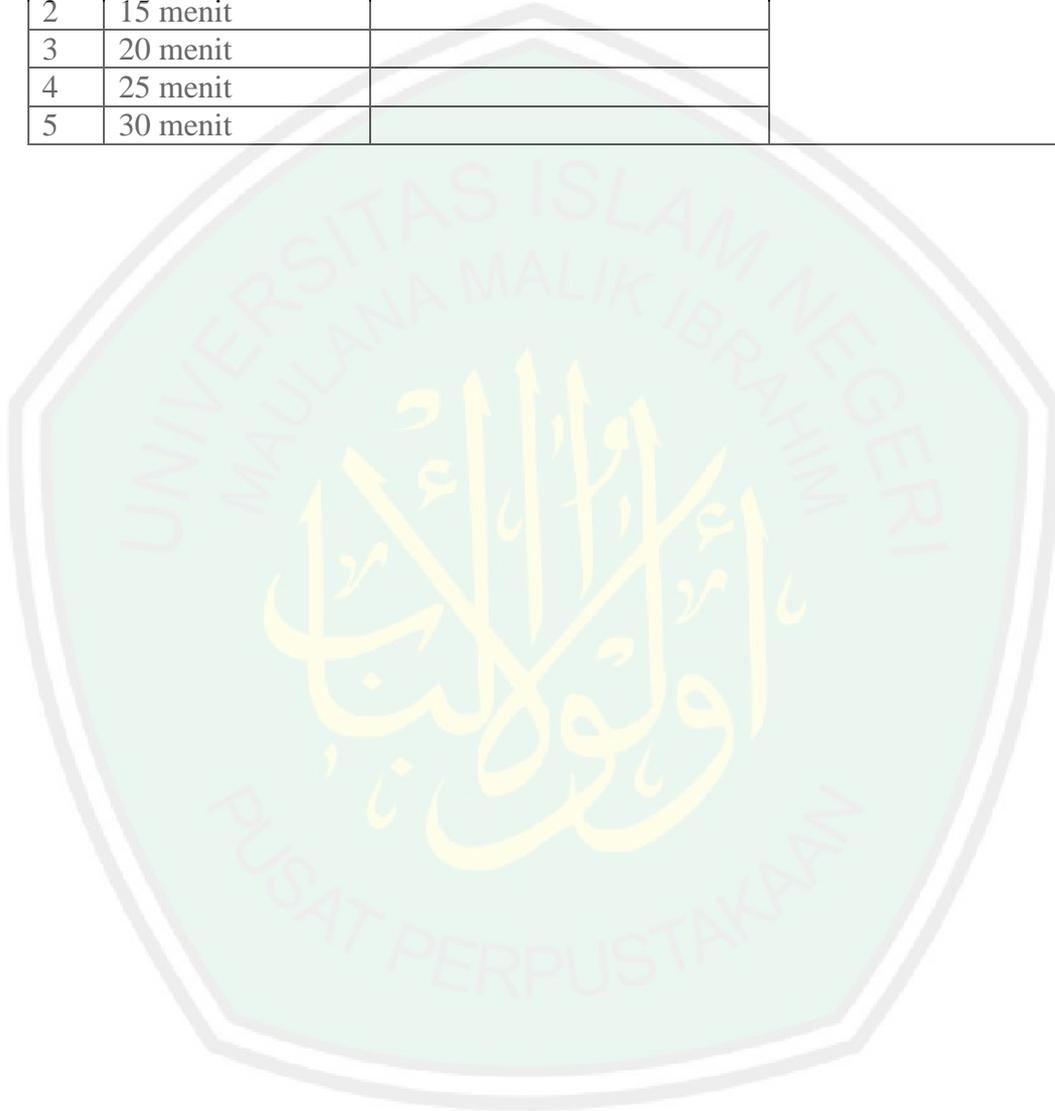
Pengambilan data dengan variasi lama waktu pemaparan ini bertujuan untuk mengetahui seberapa besar pengaruh lama pemaparan dengan banyaknya bakteri yang mengalami penghambatan pertumbuhan atau penonaktifan bakteri. Pada pengambilan data ini frekuensi yang digunakan konstan 100 Hz dikarenakan pada frekuensi ini hasil bakteri banyak yang berkurang atau mengalami penghambatan pertumbuhan. Sedangkan tegangan keluaran tetap konstan 18 kV yang diperoleh dari perancangan alat ini. Untuk pengambilan data sama dengan variasi frekuensi yang dilakukan pada masing-masing bakteri.

Tabel 3.3 Data dengan Variasi waktu pemaparan pada bakteri *Listeria monogeneses*

No.	Waktu pemaparan	Jumlah koloni (CFU/ml)	Kontrol
1	5 menit		
2	10 menit		
3	15 menit		
4	20 menit		
5	25 menit		

Tabel 3.4 Data dengan Variasi waktu pemaparan pada bakteri *Salmonella thypimurium*

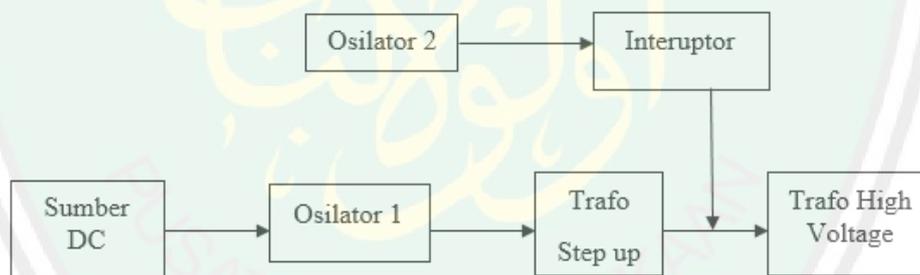
No.	Waktu pemaparan	Jumlah koloni (CFU/ml)	Kontrol
1	10 menit		
2	15 menit		
3	20 menit		
4	25 menit		
5	30 menit		



## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Pengujian Alat

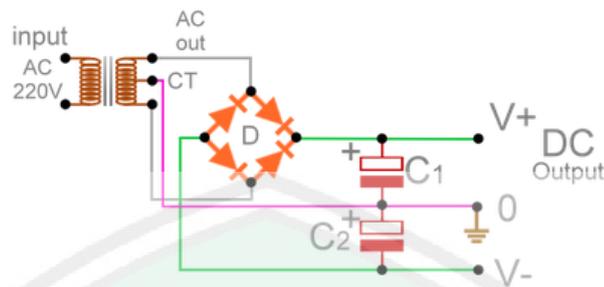
Secara umum, pengujian alat bertujuan untuk mengetahui apakah alat yang dibuat dapat bekerja sesuai spesifikasi perancangan yang telah ditentukan. Pengujian dilakukan untuk mengetahui kerja perangkat keras pada masing-masing blok rangkaian sistem seperti pada gambar 4.1. Blok rangkaian penyusun sistem, antara lain sumber DC, pengujian osilator 1 terhadap trafo step up, pengujian osilator 2 terhadap interuptor, pengujian trafo step up dan trafo high voltage, pengujian tegangan keluaran dari keseluruhan rangkaian.



Gambar 4.1 Alur Rangkaian Tegangan Tinggi

#### 4.1.1 Sumber DC

Sumber DC pada penelitian ini menggunakan power supply manual, dalam artian pembuatan power supply tanpa papan rangkaian dengan menggunakan trafo 5 A. Pembuatan power supply ini bertujuan untuk mempermudah penelitian, sehingga rangkaian tegangan tinggi yang membutuhkan power supply dapat dihubungkan langsung dengan stop kontak 220 volt. Sumber DC yang digunakan seperti pada gambar 4.2 skematik power supply pada umumnya.

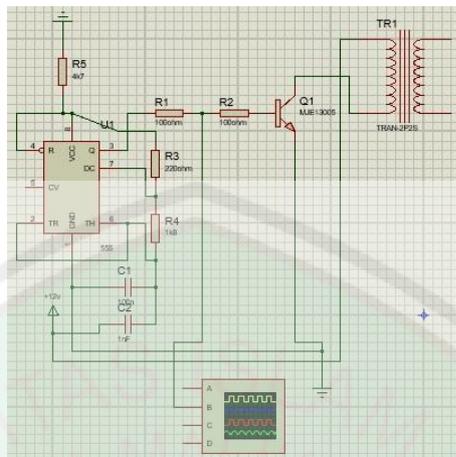


Gambar 4.2 Skematik power supply

Prinsip kerja power supply ialah inputan berasal dari listrik 220 volt melewati trafo 5 A yang berfungsi untuk mengubah arus AC menjadi DC. Kemudian trafo dihubungkan dengan regulator yang berfungsi untuk menyearahkan dan menstabilkan tegangan. Regulator yang digunakan L7805 dikarenakan trafo memiliki arus yang cukup besar. Selain itu, pada power supply ini diberi regulator 5 volt agar keluaran yang dihasilkan tidak lebih dari 5 volt. Hal ini dikarenakan untuk memudahkan alat tersupply tegangan yang konstan sehingga tidak terjadi konslet.

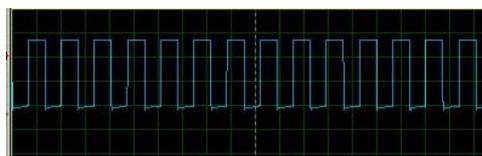
#### 4.1.2 Pengujian Osilator 1 terhadap Trafo Step Up

Pengujian rangkaian osilator terhadap trafo step up untuk mengetahui bentuk keluaran sinyal dari rangkaian osilator. Output sinyal keluaran rangkaian osilator terhadap trafo step up berbentuk gelombang kotak, dimana osilator ini menggunakan IC 555 yang berfungsi sebagai inverter. Fungsi dari osilator terhadap trafo step up ini untuk menaikkan tegangan yang awalnya 12 volt DC dinaikkan dan ubah menjadi 220 volt AC. Sehingga jika diujikan ke osiloscopie gelombang keluaran berupa gelombang kotak. Pengujian osilator terhadap trafo step up dapat dilakukan dengan menggunakan rangkaian seperti gambar 4.3



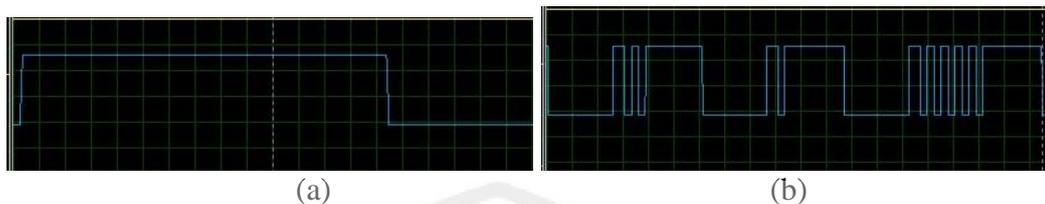
Gambar 4.3 Rangkaian uji osilator terhadap trafo step up

Berdasarkan hasil pengujian rangkaian osilator terhadap trafo step up diperoleh bentuk sinyal yang diperlihatkan pada gambar 4.4. Kabel Osiloskope yang telah dihubungkan dengan rangkaian osilator menggunakan IC 555 memiliki komponen pendukung. Dimana komponen pendukung ini seperti halnya pada pin 7,6,2 yang dihubungkan dengan resistor 220 ohm dan 1k8, dengan kapasitor 100 n (milar). Sedangkan pada pin 3 yang dihubungkan dengan dua resistor yang bernilai sama 100 ohm. Untuk pin 8 dan 4 yang dihubungkan dengan rangkaian osilator untuk mevariasikan frekuensi. Dengan adanya komponen pendukung di sekitar IC 55 yang berfungsi untuk menghasilkan sinyal keluaran berupa gelombang kotak. Bentuk dari gelombang kotak dipengaruhi dengan nilai pada kapasitor dan resistor dimana jika semakin lebar pulsa pada gelombang kotak maka nilai resistor dan kapasitor semakin kecil. Hal ini yang akan mempengaruhi dalam penilain frekuensi pad sub bab berikutnya.



Gambar 4.4 Sinyal keluaran Osilator Terhadap trafo step up



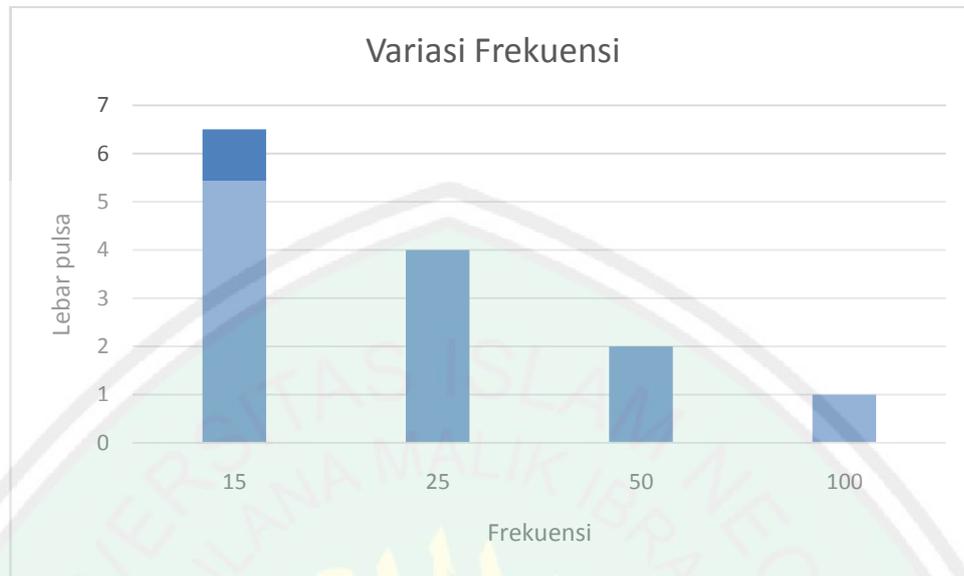


Gambar 4.6 Keluaran Sinyal Osilator terhadap Interuptor  
(a) frekuensi rendah (b) frekuensi tinggi

Pada penelitian ini dilakukan variasi frekuensi yang diperoleh dengan cara membaca sinyal keluaran seperti gambar diatas dan dinyatakan pada tabel 4.1 mengenai hasil variasi frekuensi. Terlihat pula pada gambar 4.7 mengenai hubungan lebar pulsa dengan frekuensi dihasilkan semakin lebar pulsa maka nilai frekuensi yang didapatkan semakin sedikit. Hal ini dikarenakan komponen pendukung disekitar IC 555 yang terdiri dari beberapa kapasitor dan resistor. Pada pin 7,6,2 yang dihubungkan dengan resistor 220 ohm dan 1k8, dengan kapasitor 100 n (milar). Sedangkan pada pin 3 yang dihubungkan dengan dua resistor yang bernilai sama 100 ohm. Untuk pin 8 dan 4 yang dihubungkan dengan positif dan negatif. Dengan adanya komponen pendukung yang nilai resistor dan kapasitor ditinggikan maka akan menghasilkan frekuensi yang tinggi. Sedangkan untuk mencari nilai frekuensi yang rendah maka nilai kapasitor dan resisitor dinaikkan. Hal ini dikarenakan nilai resistor dan kapasitor berbanding terbalik terhadap nilai frekuensi.

Tabel 4.1 Pengambilan data variasi frekuensi pada rangkaian tegangan tinggi

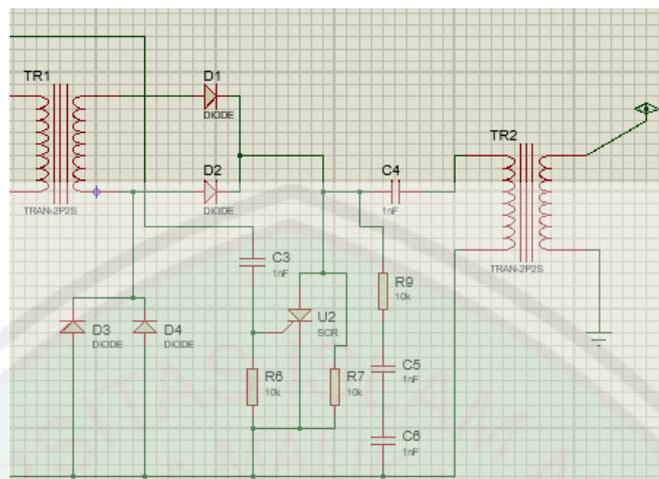
No.	Lebar pulsa	Periode (s)	Frekuensi (Hz)
1	6 kotak 5 baris	$5,6 \times 10^{-2}$	15
2	4 kotak	$4 \times 10^{-2}$	25
3	2 kotak	$2 \times 10^{-2}$	50
4	1 kotak	$1 \times 10^{-2}$	100



Gambar 4.7 Hubungan lebar pulsa dengan frekuensi

#### 4.1.4 Pengujian Trafo Step Up dan Trafo High Voltage

Pengujian trafo step up ini berfungsi untuk menaikkan tegangan yang awalnya 250 volt. Tegangan tersebut untuk mengisi kapasitor C6 sehingga muatan Kapasitor C6 dibuang melalui SCR yang dialirkan ke ground. Sehingga timbul arus pada kumparan primer pada trafo high voltage dan dibagian sekundernya akan timbul tegangan yang sangat tinggi. Pengujian rangkaian ditunjukkan pada gambar 4.8. Namun, pada pengujian trafo high voltage ini tidak dapat menggunakan osiloskop dikarenakan tegangan yang dihasilkan sangat tinggi. Untuk mengetahui nilai tegangan keluaran itu sendiri akan dijelaskan pada sub bab berikutnya.



Gambar 4.8 Rangkaian Trafo Step Up dan Trafo High Voltage

Keluaran dari Trafo High Voltage dengan muatan positif (+) dan negatif (-) dihubungkan dengan plat aluminium. Pemilihan plat aluminium ini dikarenakan aluminium termasuk bahan bersifat konduktor, yang memiliki nilai tinggi dalam menyimpan energi listrik. Plat ini berfungsi sebagai plat sejajar yang mengantarkan sekaligus menyimpan energi listrik sementara agar menimbulkan medan listrik, sehingga dapat digunakan pada tempat perlakuan untuk menonaktifkan bakteri.

#### 4.1.5 Pengujian Tegangan Keluaran

Tahap selanjutnya pada pembuatan rangkaian adalah menguji nilai tegangan keluaran pada alat yang telah jadi. Untuk pengujian alat ini dilakukan di Laboratorium Tegangan Tinggi Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Brawijaya. Pengujian tegangan keluaran ini menggunakan alat Elektroda Bola-Bola yang ditunjukkan dengan gambar 4.4.



Gambar 4.9 Elektroda Bola-Bola

Prinsip kerja dari alat ini yaitu ketika celah di antara kedua elektroda bola menimbulkan percikan api atau loncatan bunga api, hal ini menandakan tegangan keluaran telah timbul. Nilai dari tegangan keluaran ditentukan oleh jarak antar dua elektroda bola. Ketika jarak antar elektroda bola tersebut sejauh 1 cm maka nilai tegangan sebesar 30 kV. Sehingga nilai dari setiap 1 mm nilai tegangan sebesar 3 kV.

Tabel 4.2 Pengambilan data pada tegangan keluaran

No	Jarak antar bola – bola (mm)	Tegangan Keluaran (kV)
1	1	3
2	2	6
3	3	9
4	4	12
5	5	15
6	6	18



Gambar 4.10 Grafik hubungan jarak dengan tegangan keluaran

Pada pengambilan data untuk tegangan keluaran dari rangkaian tegangan tinggi didapatkan seperti pada tabel 4.2 dan ditunjukkan pada gambar 4.10 mengenai hubungan jarak antar bola-bola dengan besarnya tegangan keluaran. Terlihat bahwa semakin jauh jarak bola-bola menjadikan nilai tegangan semakin tinggi. Pada data tersebut hanya sampai dengan jarak 6 mm menghasilkan tegangan 18 kV hal ini dikarenakan jarak yang melebihi 6 mm tidak didapatkan percikan api diantara bola-bola menjadikan alat hanya mampu menghasilkan tegangan keluaran sebesar 18 kV.

#### 4.2 Data Hasil Percobaan

Penelitian yang berjudul “Rancang bangun medan listrik berpulsa dengan keping sejajar sebagai penonaktifan bakteri (studi kasus pada susu kemasan)” ini didapatkan berbagai data. Dari alat yang telah dibuat didapatkan hasil yang konstan yaitu tegangan keluaran (V) dari alat sebesar 18 kV. Maka, akan

dipadatkan nilai medan listrik (E) sebesar 3,6 kV/cm. Nilai tegangan (V) yang telah bernilai konstan maka, yang dapat divariasikan hanya frekuensi.

Untuk pengambilan data dilakukan pada 2 bakteri yaitu bakteri yaitu *Listeria monocytogeneses* dan *Salmonella typhimurium*. Masing-masing bakteri diukur jumlah koloni dengan dua variasi yaitu frekuensi dan lama waktu pemaparan. Hasil yang didapatkan akan dibandingkan dengan keadaan awal bakteri yang dinyatakan sebagai kontrol bakteri sebelum terkena paparan medan listrik.

Tahap pengambilan data mengenai bakteri melalui beberapa proses. Alat-alat yang akan dipakai terlebih dahulu disterilisasi agar tidak terkontaminasi dengan bakteri atau mikroba lainnya. Penyiapan media NB dan PCA kedua media disterilkan terlebih dahulu. Pembuatan sampel bakteri yang bertujuan untuk peremajaan atau pengembang biakkan bakteri. Dengan mengambil sampel pada bakteri sebanyak 1 jarum oase dan dihomogen pada media NB sebanyak 9 ml di masukkan pada tabung reaksi, kemudian di inkubasi selama 1 x 24 jam dengan suhu 37°C. Bakteri yang didapatkan kemudian diambil sebanyak 1 ml dan dicampurkan dengan susu sebanyak 25 ml kemudian dipapari dengan variasi frekuensi 15 Hz, 25 Hz, 50 Hz, dan 100 Hz serta variasi waktu paparan sebanyak 5 menit, 10 menit, 15 menit, 20 menit, 25 menit dan 30 menit.

Bakteri yang telah dipapari dengan variasi frekuensi dan variasi waktu paparan, kemudian dilakukan proses pengenceran di ruang LAF (*Lamina Air Flow*). Pengenceran dilakukan sampai  $10^{10}$ . Pengenceran terakhir diambil 0,1 ml suspensi menggunakan mikropipet dan dimasukkan ke dalam cawan petri,

selanjutnya dituangkan media PCA sebagai media tumbuh bakteri serta diinkubasi selama 24 jam dengan suhu 37°C. Proses selanjutnya yaitu menghitung jumlah koloni bakteri dengan menggunakan *colony counter* sekaligus dicatat jumlah bakterinya. Untuk mengetahui jumlah bakteri dapat dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$\sum \text{sel/ml} = \sum \text{koloni} \times \frac{1}{10^{-n}} \text{ cfu/ml} \quad (4.1)$$

Tahapan diatas berlaku pada masing-masing bakteri yang membedakan hanya bakteri yang digunakan yaitu *Listeria monocytogenes* dan *Salmonella typhimurium*. Berikut ini data pada masing-masing bakteri akan dijabarkan secara kualitatif dan terperinci.

#### 4.2.1 Pengambilan Data pada Bakteri *Listeria monocytogenes*

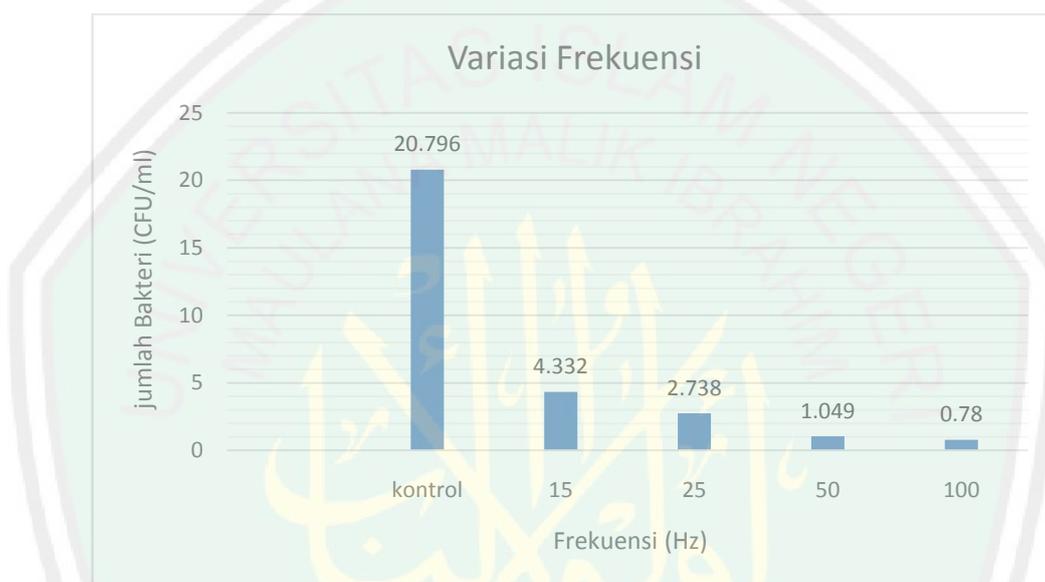
Hasil yang telah didapatkan pada penelitian ini meliputi dua variasi yaitu frekuensi 15 Hz, 25 Hz, 50 Hz, dan 100 Hz. Sedangkan untuk variasi waktu paparan 5 menit, 10 menit, 15 menit, 20 menit, dan 25 menit. Dimana pada masing-masing perlakuan terdapat pengulangan hingga 3 kali pengulangan.

##### A. Pengambilan Data dengan variasi frekuensi

Data pada variasi frekuensi ini dengan nilai frekuensi 15 Hz, 25 Hz, 50 Hz dan 100 Hz dengan waktu pemaparan konstan 15 menit. Hal ini untuk mempermudah pengambilan data dengan fokus pada satu jenis variasi. Didapatkan data seperti pada tabel 4.1. Dengan nilai kontrol yang berfungsi untuk pembandingan dengan keadaan jumlah bakteri sebelum paparan sebesar  $20,796 \times 10^8$  CFU/ml.

Tabel 4.3 Pengambilan data dengan variasi frekuensi

Frekuensi	Jumlah koloni (CFU/ml)			Rata-rata	Kontrol
	I	II	III		
15 Hz	$3,407 \times 10^8$	$5,076 \times 10^8$	$4,512 \times 10^8$	$4,332 \times 10^8$	$20,796 \times 10^8$
25 Hz	$2,115 \times 10^8$	$3,121 \times 10^8$	$2,979 \times 10^8$	$2,738 \times 10^8$	
50 Hz	$0,968 \times 10^8$	$0,579 \times 10^8$	$1,599 \times 10^8$	$1,049 \times 10^8$	
100 Hz	$0,288 \times 10^8$	$1,528 \times 10^8$	$0,553 \times 10^8$	$0,780 \times 10^8$	



Gambar 4.11 Grafik hubungan frekuensi dengan rata-rata jumlah bakteri hidup

Berdasarkan tabel 4.3 di atas, telah diketahui hasil dari paparan mampu mengurangi jumlah bakteri *Listeria monocytogenese* dalam susu. Jumlah kontrol atau jumlah bakteri sebelum dipapari diperoleh  $20,796 \times 10^8$  CFU/ml. Ketika bakteri dalam susu dipapari dengan frekuensi sebesar 15 Hz dapat menurunkan jumlah bakteri yang masih hidup sebesar  $3,407 \times 10^8$  CFU/ml. Kemudian dinaikkan frekuensi menjadi 50 Hz di dapatkan bakteri yang masih hidup sebesar  $0,968 \times 10^8$  CFU/ml. Dapat dilihat pada tabel pengulangan I, II dan III menunjukkan hasil yang selalu menurun dan begitu pula hasil yang didapatkan

pada rata-rata tiap frekuensi. Hal ini menunjukkan semakin besar frekuensi maka jumlah bakteri semakin berkurang dengan waktu paparan yang konstan.

Terlihat pula pada gambar 4.11 mengenai grafik hubungan antara frekuensi dengan rata-rata jumlah bakteri yang masih hidup menunjukkan bahwa saat frekuensi terbesar 100 Hz maka rata-rata bakteri hidup sebesar  $0.78 \times 10^8$  CFU/ml. Sedangkan pada saat frekuensi terkecil 15 Hz maka rata-rata bakteri hidup sebesar  $4,332 \times 10^8$  CFU/ml. Dari data grafik tersebut didapatkan semakin besar nilai frekuensi maka jumlah bakteri hidup semakin kecil, hal ini dikarenakan semakin tinggi nilai frekuensi maka loncatan api yang mengakibatkan semakin cepat aliran listrik untuk menonaktifkan bakteri meskipun dengan nilai medan listrik yang konstan.

Hasil analisis one way pada tabel 4.4 menunjukkan bahwa nilai signifikansi = 0,001. Hal ini menunjukkan nilai signifikansi lebih kecil dari 0,05, sehingga dapat dijelaskan bahwa variasi frekuensi dapat mempengaruhi pada penonaktifan bakteri.

Tabel 4.4 Uji Anova frekuensi terhadap jumlah bakteri hidup

	Sum of Squares	Df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	24,633	3	8,211	18,830	,001
Within Groups	3,489	8	,436		
Total	28,122	11			

Dari uji lanjut menggunakan Duncan frekuensi yang paling efisien pada perlakuan 1 dengan nilai frekuensi 100 Hz. Hal ini disebabkan semakin tinggi frekuensi semakin cepat loncatan api yang terjadi setiap detiknya sehingga medan

listrik disekitar menjadi semakin konstan dan semakin baik untuk pengurangan bakteri.

Tabel 4.5 Analisis lanjut menggunakan Duncan frekuensi terhadap banyaknya bakteri

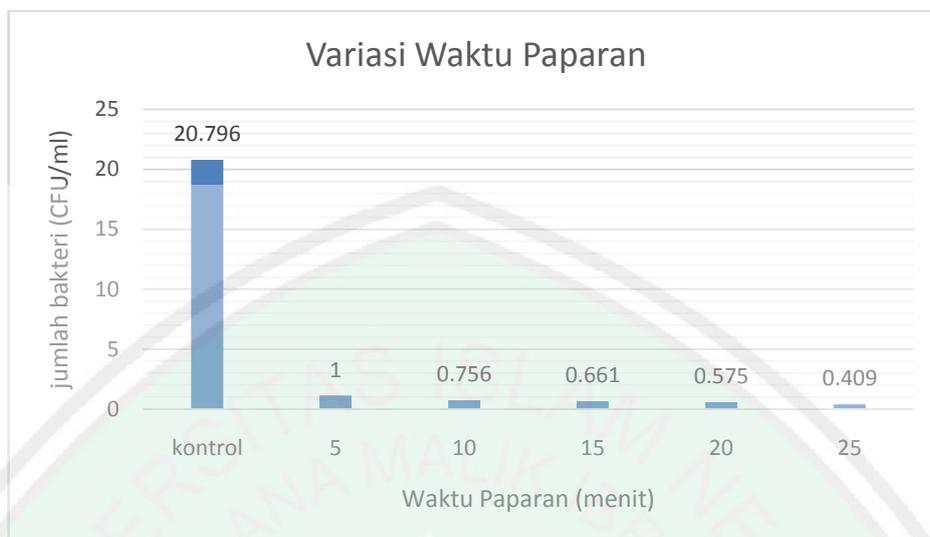
FREKUENSI	N	Subset for alpha = 0.05		
		1	2	3
4,00	3	,7670		
3,00	3	1,0487		
2,00	3		2,7383	
1,00	3			4,3317
Sig.		,616	1,000	1,000

### B. Pengambilan Data dengan variasi waktu pemaparan

Pengambilan data mengenai variasi waktu paparan ini meliputi 5 menit, 10 menit, 15 menit, 20 menit dan 25 menit. Sedangkan untuk frekuensi yang digunakan 100 Hz hal ini dikarenakan hasil bakteri yang hidup pada variasi frekuensi paling kecil pada frekuensi 100 Hz. Hasil data dengan variasi waktu paparan dapat dilihat pada tabel 4.2 dengan nilai kontrol bakteri sebelum paparan sebesar  $20,796 \times 10^8$  CFU/ml. Berikut ini hasil pengujian bakteri mengenai variasi waktu paparan beserta pengulangannya ditunjukkan pada tabel 4.6

Tabel 4.6 Pengambilan Data dengan variasi waktu pemaparan

Waktu paparan	Jumlah koloni (CFU/ml)			Rata-rata	Kontrol
	I	II	III		
5 menit	$0,928 \times 10^8$	$1,543 \times 10^8$	$1,004 \times 10^8$	$1,158 \times 10^8$	$20,796 \times 10^8$
10 menit	$0,757 \times 10^8$	$0,694 \times 10^8$	$0,846 \times 10^8$	$0,756 \times 10^8$	
15 menit	$0,673 \times 10^8$	$0,713 \times 10^8$	$0,598 \times 10^8$	$0,661 \times 10^8$	
20 menit	$0,577 \times 10^8$	$0,473 \times 10^8$	$0,674 \times 10^8$	$0,575 \times 10^8$	
25 menit	$0,416 \times 10^8$	$0,323 \times 10^8$	$0,489 \times 10^8$	$0,409 \times 10^8$	



Gambar 4.12 Grafik waktu paparan terhadap rata-rata jumlah bakteri hidup

Berdasarkan gambar 4.12 menunjukkan grafik mengenai hubungan waktu paparan terhadap rata-rata jumlah bakteri hidup. Pada gambar grafik menunjukkan nilai yang didapat ketika waktu paparan pada saat menit menunjukkan jumlah bakteri hidup sebesar  $1,158 \times 10^8$  CFU/ml. Sedangkan ketika waktu paparan semakin lama dengan durasi 30 menit maka jumlah bakteri yang masih hidup didapatkan  $0,409 \times 10^8$  CFU/ml. Hal ini menunjukkan semakin lama waktu paparan yang diberikan maka dihasilkan jumlah bakteri yang hidup semakin sedikit, dikarenakan semakin lama waktu paparan maka semakin lama keping sejajar yang digunakan semakin mempunyai muatan yang tinggi mengakibatkan semakin cepat untuk penonaktifan bakteri meskipun terdapat bahan dielektrik sebagai perantara pada keping sejajar.

Hasil analisis one way pada tabel 4.7 menunjukkan bahwa nilai signifikansi = 0,003. Hal ini menunjukkan nilai signifikansi lebih kecil dari 0,05, sehingga dapat dijelaskan bahwa waktu paparan mempengaruhi pada penonaktifan bakteri.

Tabel 4.7 Uji Anova waktu paparan terhadap jumlah bakteri hidup

	Sum of Squares	Df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	,945	4	,236	8,520	,003
Within Groups	,277	10	,028		
Total	1,223	14			

Dari uji lanjut menggunakan Duncan lama waktu paparan yang paling efisien pada perlakuan 1 dengan lama waktu paparan 25 menit. Hal ini disebabkan semakin lama waktu paparan menjadikan semakin banyak muatan yang tersimpan pada keping sejajar sehingga untuk menonaktifkan bakteri akan mengalami semakin efisien pula.

Tabel 4.8 Analisis lanjut menggunakan Duncan waktu paparan terhadap jumlah bakteri hidup

WAKTU PAPARAN	N	Subset for alpha = 0.05		
		1	2	3
5,00	3	,4093		
4,00	3	,5747	,5747	
3,00	3	,6613	,6613	
2,00	3		,7657	
1,00	3			1,1583
Sig.		,107	,209	1,000

#### 4.2.2 Pengambilan Data pada Bakteri *Salmonella typhimurium*

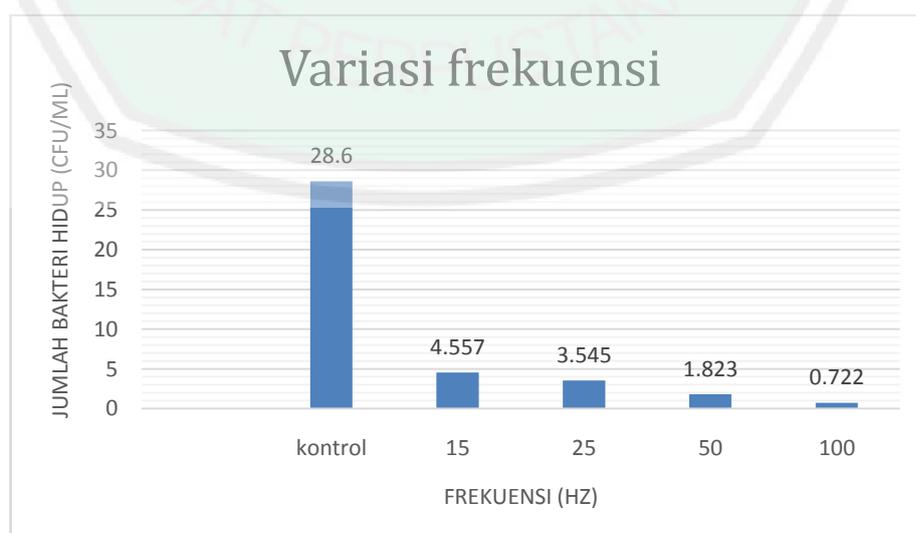
Pengambilan data pada bakteri *Salmonella typhimurium* ini sama halnya dengan bakteri *Listeria monocytogenes*. Pengambilan data dibedakan pada dua variasi yakni variasi frekuensi dan variasi lama waktu paparan yang akan dijelaskan pada subab berikut ini.

### A. Pengambilan data dengan variasi frekuensi

Variasi frekuensi dilakukan peneliti sama seperti perlakuan pada bakteri *Listeria monocytogenes*. Dimana frekuensi yang digunakan adalah 15 Hz, 25 Hz, 50 Hz, dan 100 Hz dengan menggunakan waktu paparan yang konstan 15 menit. Didapatkan hasil yang ditunjukkan pada tabel 4.5 mengenai frekuensi dengan jumlah bakteri yang masih hidup beserta perulangan hingga tiga kali. Sedangkan untuk kontrol didapatkan nilai sebesar  $28,6 \times 10^8$  CFU/ml, nilai kontrol ialah nilai yang menjadikan patokan jumlah bakteri sebelum dipapari dengan medan listrik.

Tabel 4.9 Pengambilan data dengan variasi frekuensi

Frekuensi	Jumlah koloni (CFU/ml)			Rata-rata	Kontrol
	I	II	III		
15 Hz	$4,124 \times 10^8$	$5,023 \times 10^8$	$4,524 \times 10^8$	$4,557 \times 10^8$	$28,6 \times 10^8$
25 Hz	$3,440 \times 10^8$	$3,071 \times 10^8$	$4,125 \times 10^8$	$3,545 \times 10^8$	
50 Hz	$1,407 \times 10^8$	$2,086 \times 10^8$	$1,976 \times 10^8$	$1,823 \times 10^8$	
100 Hz	$0,985 \times 10^8$	$0,096 \times 10^8$	$1,079 \times 10^8$	$0,722 \times 10^8$	



Gambar 4.13 Grafik variasi frekuensi terhadap rata-rata jumlah bakteri hidup

Hasil mengenai hubungan variasi dengan rata-rata jumlah bakteri yang masih hidup ditunjukkan pada gambar 4.13. Pada grafik terlihat ketika frekuensi bernilai 15 Hz didapatkan jumlah bakteri yang masih hidup  $4,557 \times 10^8$  CFU/ml. Untuk nilai frekuensi berikutnya sebesar 25 Hz didapatkan jumlah bakteri hidup sebesar  $3,545 \times 10^8$  CFU/ml. Untuk frekuensi selanjutnya bernilai 50 Hz menunjukkan jumlah bakteri sebesar  $1,823 \times 10^8$  CFU/ml. Untuk nilai frekuensi paling besar yakni 100 Hz didapatkan jumlah bakteri yang hidup sebesar  $0,722 \times 10^8$  CFU/ml. Dari nilai-nilai tersebut menunjukkan semakin tinggi nilai frekuensi maka didapatkan jumlah bakteri yang semakin berkurang. Hal ini dikarenakan semakin tinggi frekuensi mengakibatkan semakin cepat loncatan api sehingga menyebabkan penonaktifan bakteri semakin cepat dengan relatif waktu yang konstan yakni sebesar 15 menit dapat menurunkan jumlah bakteri yang signifikan menurun drastis.

Hasil analisis one way pada tabel 4.10 menunjukkan bahwa nilai signifikansi = 0,000. Hal ini menunjukkan nilai signifikansi lebih kecil dari 0,05, sehingga dapat dijelaskan bahwa variasi frekuensi mempengaruhi pada penonaktifan bakteri.

Tabel 4.10 Uji Anova frekuensi terhadap jumlah bakteri hidup

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	26,540	3	8,847	38,632	,000
Within Groups	1,832	8	,229		
Total	28,372	11			

Dari uji lanjut menggunakan Duncan frekuensi yang paling efisien pada perlakuan 1 dengan nilai frekuensi 100 Hz. Hal ini disebabkan semakin tinggi

frekuensi semakin cepat loncatan api yang terjadi setiap detiknya sehingga medan listrik disekitar menjadi semakin konstan dan semakin baik untuk pengurangan bakteri.

Tabel 4.11 Analisis lanjut menggunakan Duncan frekuensi terhadap banyaknya bakteri

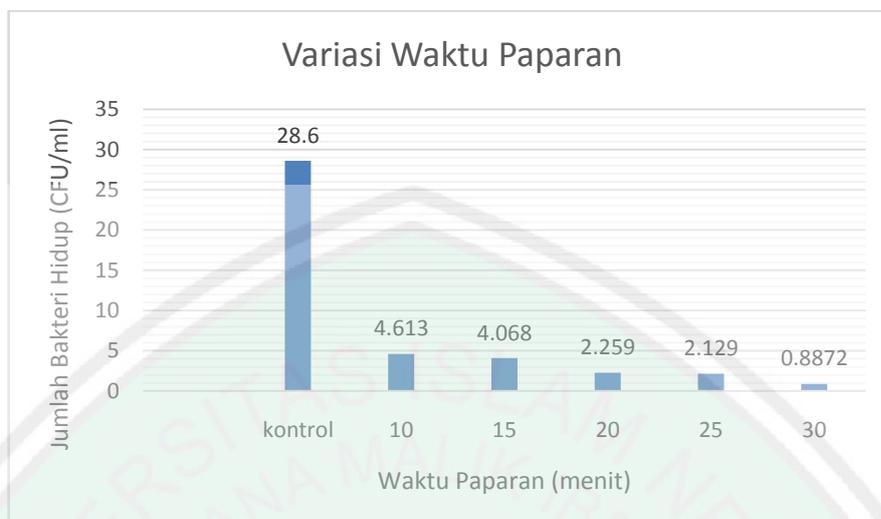
FREKUENSI	N	Subset for alpha = 0.05			
		1	2	3	4
4,00	3	,7200			
3,00	3		1,8230		
2,00	3			3,5453	
1,00	3				4,5570
Sig.		1,000	1,000	1,000	1,000

### B. Pengambilan data dengan variasi lama waktu paparan

Untuk pengambilan data dengan variasi lama waktu paparan sama dengan pengambilan data pada bakteri *Listeria monocytogenes*. Dengan pengambilan variasi waktu paparan meliputi 10 menit, 15 menit, 20 menit, 25 menit, dan 30 menit dengan menggunakan frekuensi yang konstan yakni 100 Hz. Didapatkan hasil seperti pada Tabel 4.12 mengenai pengambilan data variasi waktu paparan beserta pengulangan hingga tiga kali. Nilai kontrol pada variasi ini dihasilkan jumlah bakteri hidup sebesar  $28,6 \times 10^8$  CFU/ml yang bertujuan sebagai pembandingan dengan hasil bakteri yang telah dipapari medan listrik.

Tabel 4.12 Pengambilan data dengan variasi lama waktu paparan

Waktu paparan	Jumlah koloni (CFU/ml)			Rata-rata	Kontrol
	I	II	III		
10 menit	$4,807 \times 10^8$	$5,017 \times 10^8$	$4,016 \times 10^8$	$4,613 \times 10^8$	$28,6 \times 10^8$
15 menit	$4,497 \times 10^8$	$3,116 \times 10^8$	$4,576 \times 10^8$	$4,068 \times 10^8$	
20 menit	$2,758 \times 10^8$	$2,016 \times 10^8$	$2,003 \times 10^8$	$2,259 \times 10^8$	
25 menit	$1,772 \times 10^8$	$2,052 \times 10^8$	$2,563 \times 10^8$	$2,129 \times 10^8$	
30 menit	$0,074 \times 10^8$	$0,965 \times 10^8$	$1,579 \times 10^8$	$0,8872 \times 10^8$	



Gambar 4.14 Grafik hubungan waktu paparan terhadap rata-rata jumlah bakteri

Berdasarkan grafik pada gambar 4.14 menunjukkan nilai saat lama waktu paparan selama 10 menit jumlah bakteri hidup sebesar 4,613 CFU/ml. Pada saat lama paparan sebesar 15 menit jumlah bakteri yang masih hidup sebesar 4,068 CFU/ml. Lama paparan selama 20 menit bakteri yang masih hidup sebesar 2,259 CFU/ml. Untuk waktu paparan 25 menit jumlah bakteri yang masih hidup menurun menjadi  $2,129 \times 10^8$  CFU/ml. Sedangkan pada waktu paparan yang paling lama yakni 30 menit jumlah bakteri yang masih hidup menjadi  $0,8872 \times 10^8$  CFU/ml. Dari data-data tersebut menunjukkan hasil yang signifikan selalu menurun ketika waktu paparan semakin lama maka didapatkan jumlah bakteri yang semakin berkurang. Hal ini disebabkan karena semakin lama waktu pemaparan maka semakin banyak muatan yang terkandung pada plat sejajar, meskipun selama pengambilan data masih ada jeda untuk melakukan pengenceran guna untuk menghitung jumlah bakteri yang ada.

Hasil analisis one way pada tabel 4.13 menunjukkan bahwa nilai signifikansi = 0,003. Hal ini menunjukkan nilai signifikansi lebih kecil dari 0,05, sehingga dapat dijelaskan bahwa waktu paparan mempengaruhi pada penonaktifan bakteri.

Tabel 4.13 Uji Anova lama waktu paparan terhadap jumlah bakteri hidup

	Sum of Squares	Df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	,945	4	,236	8,520	,003
Within Groups	,277	10	,028		
Total	1,223	14			

Dari uji lanjut menggunakan Duncan lama waktu paparan yang paling efisien pada perlakuan 1 dengan lama waktu paparan 30 menit. Hal ini disebabkan semakin lama waktu paparan menjadikan semakin banyak muatan yang tersimpan pada keping sejajar sehingga untuk menonaktifkan bakteri akan mengalami semakin efisien pula.

Tabel 4.14 Analisis lanjut menggunakan Duncan lama waktu paparan terhadap jumlah bakteri hidup

WAKTU PAPARAN	N	Subset for alpha = 0.05		
		1	2	3
5,00	3	,8727		
4,00	3		2,1290	
3,00	3		2,2590	
2,00	3			4,0630
1,00	3			4,6133
Sig.		1,000	,800	,297

### 4.3 Pembahasan

Alat untuk penonaktifan bakteri pada susu kemasan telah dibuat terdiri dari beberapa rangkaian meliputi, pembuatan power supply dan rangkaian sumber tegangan tinggi, serta uji coba tegangan keluaran dari alat tersebut. Pembuatan power supply ini sangat sederhana dengan menggunakan trafo 5 A dihubungkan

terhadap kapasitor elco serta transistor L7805. Dimana fungsi dari kapasitor elco sebagai filter riak sedangkan transistor L7805 yang berfungsi sebagai regulator tegangan yang bernilai 5 volt sehingga keluaran dari power supply tidak lebih dari 5 volt. Tambahan pada power supply terdapat LED merah sebagai lampu indikator yang menandakan bahwa power supply dapat digunakan ketika LED menyala, ketika LED tidak menyala menandakan adanya komponen yang belum tersambung dengan benar.

Rangkaian ini menggunakan prinsip pada osilator yaitu mengubah energi DC menjadi energi AC yang lebih bermanfaat. Dimana, menjadikan AC sebagai tegangan keluaran yang dihubungkan dengan koil sehingga menimbulkan percikan api atau lincatan bunga api yang dapat digunakan sebagai medan listrik berpulsa untuk penonaktifan bakteri. Osilator sendiri rangkaian mengenai pembangkit sinyal (*Signal generator*). Osilator dapat menghasilkan keluaran gelombang dengan bentuk sinusoidal, segitiga, gergaji, atau persegi tergantung pada desain rangkaiannya. Osilator sinusoidal dapat memproduksi sinyal bentuk sinus yang menggunakan prinsip umpan balik (*feedback*). Dengan mengatur frekuensi beserta amplitudo maka akan didapatkan sinyal keluaran berupa gelombang kotak yang bisa disesuaikan (Ron and Richard, 2001).

Perancangan medan listrik berpulsa menggunakan penerapan dari tegangan tinggi yang dihasilkan pada koil mobil yang dihubungkan pada keping sejajar berbahan aluminium sehingga menimbulkan aliran kejutan listrik. Pada rangkaian ini menggunakan IC 555 sebagai timer dan sebagai inverter. Tegangan dari power supply sebesar 12 volt AC yang akan diubah pada rangkaian dengan

bantuan trafo, inveter IC 555, transistor, beserta komponen lainnya akan dinaikkan menjadi 220 volt DC.

Sedangkan komponen dioda pada rangkaian ini berfungsi untuk menaikkan tegangan yang berkisar 250 volt. Tegangan 250 volt untuk mengisi kapasitor yang paling besar sehingga muatan yang ada akan dibuang ke komponen SCR Gate yang akan dibuang menuju ground. Maka, akan dihasilkan arus pada kumparan primer pada koil. Sehingga pada koil apabila didekatkan antara keluaran negatif dan positif akan menimbulkan loncatan api atau bunga api yang menandakan tegangan keluarannya. Fungsi dari koil yakni untuk menaikkan tegangan sekitar lebih dari 10.000 volt.

Alat ini memiliki nilai tegangan keluaran konstan sehingga menjadikan nilai medan listrik kontan pula. Untuk memvariasi alat ini menggunakan rangkaian seperti IC 555 yang digunakan untuk mengatur besar kecil nilai frekuensi yang dihubungkan dengan potensiometer 100K. Variasi frekuensi yang didapatkan berkisar 10 Hz – 100 Hz yang akan digunakan dalam variasi pengambilan data. Variasi frekuensi ini ditunjukkan dengan keluaran loncatan api yang semakin cepat apabila frekuensi yang digunakan semakin tinggi. Selain itu, apabila potensiometer diputar melebihi frekuensi 100 Hz maka akan didapatkan loncatan api yang berhenti seketika, hal ini bertujuan untuk menstabilkan tegangan beserta frekuensi yang ada agar alat tidak terlalu bekerja keras dengan beban yang berlebih. Kecepatan frekuensi akan menentukan banyaknya muatan listrik yang diisikan pada plat, sehingga semakin banyak muatan maka fluks pada

luas plat semakin rata dan mengakibatkan gaya tarik menarik mengakibatkan adanya medan listrik.

Pemilihan koil pada penelitian ini yang pertama menggunakan koil sepeda motor dengan didapatkan tegangan keluaran sebesar 18 kV. Tegangan yang dihasilkan terlalu kecil sehingga koil diganti menggunakan koil mobil dengan harapan tegangan keluaran akan bernilai lebih dari 20 kV. Setelah di uji cobakan nilai tegangan keluaran tetap bernilai 18 kV dengan loncatan api yang lebih tinggi. Peneliti tetap menggunakan koil mobil dikarenakan pada koil mobil nilai kumparan koil yang lebih besar sehingga didapatkan loncatan api yang lebih cepat jika dibandingkan dengan koil sepeda motor. Sehingga diharapkan didapatkan hasil yang lebih baik dengan menggunakan koil mobil.

Keluaran dari rangkaian yang terletak pada koil terdapat dua muatan yakni positif (+) dan negatif (-) dihubungkan dengan plat aluminium yang berfungsi sebagai plat sejajar. Penggunaan aluminium sebagai plat sejajar ini berdasarkan aluminium termasuk bahan konduktor yang baik dalam menghantarkan arus listrik. Plat aluminium berfungsi sekaligus sebagai plat keping sejajar juga berfungsi sebagai penghantar arus listrik sehingga timbul medan listrik diantara kedua plat. Apabila frekuensi ditinggikan akan terlihat loncatan api yang ditimbulkan meskipun sekilas. Dimana medan listrik merupakan daerah atau ruang disekitar yang bermuatan listrik dan apabila sebuah benda bermuatan lainnya diletakkan pada daerah itu masih mengalami gaya listrik. Jika muatan lain berada di dalam medan listrik dari sebuah benda bermuatan listrik, muatan

tersebut akan mengalami gaya listrik berupa gaya tarik atau gaya tolak bergantung dari jenis muatannya.

Pengujian alat yang telah jadi guna untuk mengetahui nilai tegangan keluaran dilakukan di Universitas Brawijaya. Dengan menggunakan alat elektroda bola-bola untuk mengetahui seberapa besar tegangan yang dapat dihasilkan dari alat yang telah dibuat. Pengujian alat ini dengan menghubungkan keluaran negatif (-) dan positif (+) alat dengan elektroda bola-bola. Jika timbul loncatan api diantara bola-bola maka alat tersebut memiliki nilai tegangan keluaran sebesar sekian. Nilai dari tegangan keluaran ditentukan dengan jarak antar elektroda bola-bola jarak 1 cm mewakili nilai tegangan sebesar 30 kV jadi setiap 1 mm bernilai tegangan sebesar 3 kV. Pengujian tegangan keluaran pada rangkaian tegangan tinggi telah didapatkan nilai tegangan keluaran sebesar 18 kV dengan nilai medan listrik (E) konstan sebesar 3,6 kV/cm.

Pembuatan alat mengenai penonaktifan bakteri khususnya pada susu kemasan ini, diupayakan agar hasil susu kemasan yang ada di pabrik-pabrik besar dapat terhindar dari berbagai jenis bakteri. Pada prinsipnya, kapasitor merupakan susunan dua konduktor yang dipisahkan oleh sebuah bahan dielektrik. Yang pada penelitian ini digantikan dengan susu kemasan yang berisikan bakteri. Umumnya bakteri pada susu sangatlah banyak sehingga untuk meminimalisir memerlukan perlakuan khusus pada masing-masing bakteri. Pada penelitian ini dipusatkan pada dua bakteri yaitu *Salmonella typhimurium* dan *Listeria monocytogenes*.

Banyaknya bakteri patogen yang hidup pada susu sehingga dapat merusak tubuh sekaligus kandungan susu sendiri menjadikan pemilihan bakteri yang akan

diuji semakin banyak. Namun, yang digunakan peneliti hanya bakteri *Salmonella typhimurium* dan *Listeria monocytogenes*. Yang membedakan dari kedua bakteri ini adalah bakteri *Salmonella typhimurium* mewakili jenis dari bakteri gram negatif sedangkan untuk bakteri *Listeria monocytogenes* mewakili jenis bakteri gram positif yang mana perbedaan dari keduanya telah dijelaskan pada bab sebelumnya.

Data pada tabel 4.1 menunjukkan bahwa paparan medan listrik dengan variasi frekuensi dengan menggunakan waktu yang konstan selama 15 menit menyebabkan penurunan jumlah bakteri *Listeria monocytogenes*. Dari data yang diperoleh jumlah rata-rata bakteri sebelum dipapari medan listrik  $20,796 \times 10^8$  CFU/ml. Setelah dipapari medan listrik dengan frekuensi 15 Hz didapatkan jumlah bakteri yang hidup sebesar  $4,332 \times 10^8$  CFU/ml, ketika paparan menggunakan frekuensi 50 Hz didapatkan jumlah bakteri yang hidup sebesar  $1,049 \times 10^8$  CFU/ml. Dengan menggunakan variasi frekuensi yang paling tinggi yakni 100 Hz dengan

banyak bakteri yang masih hidup sebesar  $0,780 \times 10^8$  CFU/ml memiliki prosentase penurunan kematian bakteri sebesar 96,24%. Sedangkan pada variasi waktu dengan menggunakan frekuensi yang konstan 100 Hz terlihat pada tabel telah ketika paparan selama 10 menit didapatkan jumlah bakteri yang hidup sebanyak  $1,158 \times 10^8$  CFU/ml, ketika pada waktu paparan selama 25 menit jumlah bakteri yang hidup sebanyak  $0,409 \times 10^8$  CFU/ml. Ketika menggunakan waktu paparan 25 menit banyak bakteri yang masih hidup sebesar  $0,722 \times 10^8$  CFU/ml

tingkat prosentase kematian bakteri yang sangat tinggi yaitu 98,03%. Dari data-data tersebut menunjukkan bahwa semakin besar frekuensi dan lama waktu pemaparan yang diberikan, maka jumlah bakteri yang hidup akan semakin berkurang.

Bakteri *Salmonella typhimurium* juga diambil data seperti halnya pada bakteri *Listeria monocytogenes* dengan ditunjukkan pada tabel 4.3 mengenai variasi frekuensi menggunakan waktu yang konstan selama 15 menit didapatkan jumlah bakteri hidup sebelum dipapari sebesar  $28,6 \times 10^8$  CFU/ml. Jumlah bakteri ketika dipapari medan listrik dengan frekuensi 25 Hz menjadi berkurang sebesar  $4,557 \times 10^8$  CFU/ml, ketika frekuensi dinaikkan menjadi 100 Hz jumlah bakteri hidup berkurang menjadi  $0,722 \times 10^8$  CFU/ml dengan prosentase tingkat kematian bakteri sebesar 97,47%. Sedangkan untuk variasi waktu paparan menggunakan nilai frekuensi yang konstan 100 Hz didapatkan jumlah bakteri hidup setelah paparan selama 15 menit sebesar  $4,068 \times 10^8$  CFU/ml, ketika lama waktu paparan dinaikkan dua kali lipat menjadi 30 menit jumlah bakteri yang hidup menurun menjadi  $0,8872 \times 10^8$  CFU/ml dengan prosentasi kematian bakteri sebesar 96,89%. Dari data-data tersebut menunjukkan bahwa frekuensi dan lama waktu paparan dapat menurunkan pertumbuhan bakteri *Salmonella typhimurium*.

Hasil penurunan pertumbuhan bakteri *Salmonella typhimurium* dan *Listeria monocytogenes* menunjukkan hasil yang semakin menurun dan sangat jauh dari keadaan awal bakteri sebelum dipapari medan listrik. Meskipun pada bakteri *Salmonella typhimurium* didapatkan hasil yang lebih banyak dari pada bakteri *Listeria monocytogenes*. Hal ini disebabkan bakteri *Salmonella*

*typmurium* bukan bakteri asli yang berasal dari susu melainkan bakteri yang diduga ditemukan pada kafeer yaitu keju dengan campuran susu, sehingga bakteri ini dapat bertahan lebih lama pada prosuk susu murni.

Pada prinsipnya, kapasitor merupakan susunan dua buah konduktor yang dipisahkan oleh sebuah bahan dielektrik. Dalam penelitian ini bahan dielektrik digantikan dengan susu kemasan yang berisikan bakteri *Listeria monocytogeneses* dan bakteri *Salmonella typhimurium*. Perpindahan muatan positif dan negatif pada masing-masing plat kapasitor yang dihubungkan dengan sumber tegangan, dipengaruhi oleh kutub positif dan negatif dari sumber tegangan tersebut. Sehingga plat yang dihubungkan pada kutub positif dari sumber tegangan cenderung lebih bermuatan positif dan sebaliknya.

Tegangan listrik adalah salah satu faktor utama yang mempengaruhi dalam penonaktifan mikroba. Tegangan listrik berbanding lurus dengan medan listrik  $E$ . Apabila frekuensi ditingkatkan, maka penonaktifan bakteri juga semakin meningkat. Frekuensi semakin tinggi mengakibatkan loncatan api yang semakin cepat sehingga menimbulkan tegangan yang semakin cepat tersimpan pada plat keping sejajar. Medan listrik yang diberikan pada dielektrik, dalam hal ini susu kemasan yang melebihi kemampuan dari bahan dielektrik itu sendiri akan mengalami peristiwa *dielectric breakdown* (kedadalan pada material dielektrik). *Dielectric breakdown* yang terjadi pada susu kemasan menyebabkan perpindahan relatif muatan positif dalam dielektrik muatan negatif, yang menyebabkan dielektrik tersebut terpolarisasi. Besarnya polarisari tidak hanya bergantung pada

medan listrik, tetapi juga bergantung pada sifat molekul penyusun bahan dielektrik tersebut.

Selain itu pada bahan dielektrik akan memperlemah medan listrik antar elektroda. Hal ini disebabkan dengan penggunaan bahan dielektrik pada bahan cair berupa susu yang mana molekul-molekul dalam dielektrik bersifat polar, sehingga dielektrik memiliki momen dipol permanen secara acak. Jika diberi pengaruh medan listrik dengan tegangan yang sangat besar maka momen dipol akan mengikuti arah dari medan listrik tersebut. Kemampuan momen dipol menyetarakan diri dengan medan listrik bergantung pada kuat medan dan temperatur. Susu cair yang memiliki sifat polar akan terpolarisasi dengan elektron pada masing-masing bakteri akan mengalami ketertarikan pada muatan plat yang akan menjadikan bakteri mudah tidak stabil dalam perkembangannya sehingga bakteri mudah untuk mati.

Selain memberikan kejutan listrik atau paparan medan listrik berpulsa, lama pemaparan juga termasuk dalam faktor yang penting dalam proses ini. Semakin lama waktu paparan, maka jumlah pulsa yang dikeluarkan semakin banyak. Lamanya medan listrik yang mengenai bakteri akan mempengaruhi tingkat kerusakan dari membran sel bakteri. Terhambatnya pertumbuhan bakteri ini disebabkan karena dinding membran sel (*lipoprotein*) bakteri rusak. Ketika bakteri dipapari medan listrik berpulsa akan terjadi peningkatan energi kemudian menyebabkan membran sel berlubang. Lubang ini disebabkan karena adanya pergeseran muatan pada atom atau molekul, dimana yang bermuatan positif akan bergeser ke arah elektroda negatif dan yang bermuatan negatif akan bergeser ke

elektroda positif sehingga muatan positif dan negatif menjadi terpisah. Pergeseran muatan ini menyebabkan penipisan pada membran sel kemudian menyebabkan membran sel akan berlubang dan mengalami kerusakan.

Proses perusakan membran sel ini disebut dengan elektroporasi dimana sel tersebut pecah dengan pulsa listrik bertegangan tinggi secara temporer merusak lapisan lipid dan protein dari membran sel dan akhirnya kandungan plasma dari membran sel menjadi *permeable* terhadap molekul kecil setelah terkena medan listrik. Efek utama dari pengaruh medan listrik yang diberikan pada sel mikroorganismenya adalah untuk meningkatkan permeabilitas membran, dalam hal ini adalah tekanan pada membran dan pembentukan pori.

#### 4.4 Kajian Integrasi Aplikasi Medan Listrik Berpulsa

Kebutuhan pokok manusia sangatlah beragam, terutama pada kebutuhan makanan pokok. Pemilihan makanan hedaknya yang baik bagi tubuh dan terhindar dari segala jenis bakteri. Selain itu, Allah SWT telah memerintahkan untuk memilih makanan yang halal dan bermanfaat bagi tubuh, sebagaimana Allah SWT berfirman dalam Surar An-Nahl (16): 114,

فَكُلُوا مِمَّا رَزَقَكُمُ اللَّهُ حَلَالًا طَيِّبًا وَاشْكُرُوا نِعْمَةَ اللَّهِ  
إِنْ كُنْتُمْ إِيَّاهُ تَعْبُدُونَ

“Maka makanlah yang halal lagi baik dari rezki yang telah diberikan Allah kepadamu; dan syukurilah ni`mat Allah jika kamu hanya kepada-Nya saja menyembah” (Q.S. An-Nahl(16): 114)

Ayat tersebut memerintahkan kepada umat-Nya untuk mengonsumsi makanan yang halal yang berasal dari rezeki yang diberikan oleh-Nya. Kata makan dalam ayat ini adalah “*segala aktivitas manusia*”. Pemilihan kata makan,

disamping merupakan makanan pokok manusia, juga karena makanan mendukung aktivitas manusia. Sedangkan pemilihan makan hendaknya yang halal dengan sesuai kebutuhan masing-masing. Tidak semua halal cocok dengan semua kalangan, terkadang halal baik untuk kesehatan orang tertentu namun bagi orang lain belum tentu baik, walaupun baik bagi orang lain (Quraish,2002)

Allah SWT memerintahkan agar manusia mengkonsumsi makanan yang sifatnya halal dan *thayyib*. Kata "*halal*" berasal dari akar kata yang berarti lepas atau tidak terikat. Sesuatu yang halal adalah yang terlepas dari ikatan bahaya duniawi dan ukhrawi. Karena itu kata "*halal*" juga berarti boleh. Dalam bahasa hukum, kata ini mencakup segala sesuatu yang dibolehkan agama, baik kebolehan itu bersifat sunnah, anjuran untuk dilakukan, makruh (anjuran untuk ditinggalkan) maupun mubah (netral/boleh-boleh saja). Karena itu boleh jadi ada sesuatu yang halal (boleh), tetapi tidak dianjurkannya, atau dengan kata lain hukumnya makruh (Quraish, 1996).

Kata *thayyib* dari segi bahasa berarti lezat, baik, sehat, menenteramkan, dan paling utama. Pakar-pakar tafsir menjelaskan kata ini dalam konteks perintah makan, kata *thayyib* berarti makanan yang tidak kotor dari segi zatnya atau rusak (kadaluarsa), atau dicampur benda najis. Ada juga yang mengartikannya sebagai makanan yang mengundang selera bagi yang mengkonsumsinya dan tidak membahayakan fisik dan akalnya. Kata *thayyib* dalam makanan adalah makanan yang sehat, proporsional, dan aman. Tentunya sebelum itu adalah halal. (Quraish,1996).

Sedangkan menurut ilmu kesehatan, makanan sehat adalah makanan yang mengandung zat-zat yang dibutuhkan oleh tubuh dan harus memiliki beberapa syarat, yaitu higienis, bergizi dan berkecukupan, tetapi tidak harus makanan mahal dan enak. Makanan higienis adalah makanan yang tidak terkena kuman atau zat yang dapat mengganggu kesehatan. Makanan bergizi adalah makanan yang memiliki jumlah kandungan karbohidrat, protein, lemak, dan vitamin yang cukup untuk tubuh. Sedangkan makanan berkecukupan adalah makanan yang sesuai dengan kebutuhan berdasarkan usia dan kondisi tubuh. Selain persyaratan di atas, makanan sehat itu dipengaruhi oleh cara memasaknya, suhu makanan pada saat penyajian dan bahan makanan yang mudah dicerna. Tujuan dari mengkonsumsi makanan yang sehat bagi tubuh adalah untuk menjaga agar badan tetap sehat, tumbuh dan berkembang dengan baik. Sedangkan apabila tidak terpenuhi syarat-syarat tersebut, bukan kesehatan yang didapat tetapi malah terbentuk penyakit (Andrianto, 2015).

Makanan yang halal adalah makanan yang dibolehkan oleh agama dari segi hukumnya, baik hal dan zatnya, dibolehkan oleh agama, misalnya telur, buah-buahan, susu dan lainnya. Dianjurkan pula agar kita mengkonsumsi makanan yang baik, makanan yang tidak menyebabkan penyakit sehingga tidak membahayakan bagi tubuh manusia. Makanan yang baik merupakan faktor yang sangat penting bagi tubuh karena kondisi tubuh yang sehat manusia dapat beraktifitas dengan nyaman. Salah satu makanan yang halal ialah susu, meskipun diperoleh dari tempat yang kotor memiliki manfaat yang sangat banyak. Susu sapi merupakan

salah tanda-tanda kekuasaan Allah, sebagaimana yang telah disebutkan dalam Al-Qur'an surat An-Nahl (16): 66,

وَإِنَّ لَكُمْ فِي الْأَنْعَامِ لَعِبْرَةً نُّسْقِيكُم مِّمَّا فِي بُطُونِهِ  
مِنْ بَيْنِ فَرْثٍ وَدَمٍ لَبَنًا خَالِصًا سَائِغًا لِلشَّارِبِينَ

*“Dan sesungguhnya pada binatang ternak itu benar-benar terdapat pelajaran bagi kamu. Kami memberimu minum daripada apa yang berada dalam perutnya (berupa) susu yang bersih antara tahi dan darah, yang mudah ditelan bagi orang-orang yang meminumnya”.* (Q.S. An-Nahl(16): 66)

Dalam surat An-Nahl ini menjelaskan bahwa Allah sanggup menciptakan minuman yang bersih walaupun ada di tempat yang kotor. Antara area kotoran dan darah bintang yang keluar. Allah mampu menciptakan susu yang bersih dan mudah ditelan. Oleh karena itu susu merupakan salah satu tanda kekuasaan Allah bagi seluruh umat manusia. Agar susu sapi dapat dikonsumsi dan disimpan dalam jangka waktu tertentu, perlu dilakukan teknologi pengawetan agar susu sapi tidak rusak.

Berbagai teknologi tentang pengawetan telah digunakan, salah satunya dengan metode pasteurisasi. Metode pasteurisasi sangat efisien tetapi juga memiliki kelemahan yakni banyak berkurangnya komponen penting dalam susu. Alternatif lain yaitu dengan menggunakan metode medan listrik. Seperti yang telah dilakukan peneliti yaitu dengan rancangan medan listrik berpulsa dapat menonaktifkan berbagai bakteri. Sehingga berbagai bakteri patogen dalam susu dapat berurang untuk menghindarkan manusia dari mengonsumsi susu yang telah terkontaminasi berbagai bakteri.

## BAB V PENUTUP

### 5.1 Kesimpulan

Rangkaian tegangan tinggi medan listrik berpulsa dengan elektroda keping sejajar dapat menonaktifkan bakteri *Listeria monocytogenes* dan *Salmonella typhimurium*. Rangkaian tegangan tinggi medan listrik berpulsa dengan menghasilkan tegangan sebesar 18 kV dan medan listrik berpulsa sebesar 3,6 kV/cm secara garis besar dapat mengurangi kematian bakteri hingga 98,03%.

Terdapat dua jenis bakteri *Listeria monocytogenes* didapatkan frekuensi yang paling optimal pada 100 Hz dengan jumlah koloni bakteri yang masih hidup sebesar  $0,780 \times 10^8$  CFU/ml memiliki prosentase kematian bakteri sebesar 96,24%. Sedangkan waktu yang paling optimal pada saat 25 menit didapatkan jumlah koloni bakteri yang masih hidup sebesar  $0,409 \times 10^8$  CFU/ml dengan tingkat kematian sebesar 98,03%. Semakin tinggi frekuensi dan semakin lama waktu paparan dapat menurunkan jumlah bakteri yang hidup.

Pada bakteri *Salmonella typhimurium* didapatkan frekuensi yang paling optimal pada 100 Hz dengan jumlah koloni bakteri yang masih hidup sebesar  $0,722 \times 10^8$  CFU/ml memiliki prosentase kematian bakteri sebesar 97,47%. Sedangkan waktu yang paling optimal pada saat 30 menit didapatkan jumlah koloni bakteri yang masih hidup sebesar  $0,8872 \times 10^8$  CFU/ml dengan tingkat kematian sebesar 96,89%. Semakin tinggi frekuensi dan semakin lama waktu paparan dapat menurunkan jumlah bakteri yang hidup.

## 5.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat dilakukan penelitian lanjutan mengenai:

1. Diperlukan untuk melakukan penelitian lanjutan mengenai melihat kandungan pada susu yang telah dipapari dengan medan listrik.
2. Dapat dilakukan penelitian untuk pengawetan dengan kapasitas besar.
3. Dapat dibuat rancang bangun dengan mengurangi noise pada saat loncatan api
4. Dapat dilakukan pada proses pengenceran dan penanaman bakteri, sebaiknya alat dan bahan harus benar-benar steril sehingga tidak terjadi kontaminasi.

## DAFTAR PUSTAKA

- Arismunandar, Artono. 2001. *Teknik Tegangan Tinggi*. Jakarta: Pradnya Paramita
- Asy-Saukani, Muhammad. 2000. *Nail Al-atar*. Beirut: Dar I-Kutub al-‘Arabi.
- Ayu,Bestari.J. 2015. *Optimasi Medan Listrik Berpulsa untuk Menghambat Pertumbuhan Biofilm Listeria Monocytogeneses*. Skripsi. Jurusan Fisika: Fakultas Sains dan Teknologi. Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang
- Badan Standardisasi Nasional. 2000. Standardisasi Nasional Indonesia (SNI) 01-6366-2000. *Batas Maksimum Cemar Mikroba dan Batas Maksimum Cemar Residu Dalam Bahan Makanan Asal Hewan*. Hlm 1-4
- Barrow, P.A., et al. (2010). *Salmonella. Dalam Pathogenesis of Bacterial Infection in Animals. Fourth Edition*. Edited by Gyles C.L. et al. Wiley-Blackwell. A John Wiley & Sons Inc, Publication.
- Bradshaw, dkk. 1987. Thermal resistance of disease-associated *Salmonella Typhimurium* in milk. *J. Food Prot.* 50:95-96
- Bueche.J.F dan Hecht.E. 2006. *Schaum's Outlines Fisika Universitas Edisi Kesepuluh*. Jakarta: Erlangga.
- Chambell, dkk. 2002. *Biologi Edisi Kelima Jilid I*. Jakarta: Erlangga
- Cooper William, Dr. Sahat Pakpahan. 1993. *Instrumentasi Elektronika dan Teknik Pengukuran*. Jakarta: Erlangga.
- D'aoust, dkk. 2001. *Thermal Inactivation of Salmonella Species in Fluid Milk*. *J. Food Prot.* 50: 494-501
- Dieter, K. & K. Hermann. 1989. *High- Voltage Insulation Technology*. Germany : Friedr.vieweg & Shon, Braunschweig.
- Direktorat jendral peternakan. 2006. Statistik peternakan 2006. Direktorat jendral peternakan, Departemen pertanian RI, Jakarta
- Dwihono, 1996. *Rangkaian Elektronika Analog*. Jakarta: Elax Media.
- Ekaswati, F. 2006. *Penggunaan Uji Alkohol untuk Penentuan Kesegaran Susu*, Skripsi. Bogor: Institut Pertanian Bogor

Fleming, D.W., dkk. 1985. *Pasteurised as vehicle of infection in an outbreak of listeriosis*. New England, J.Med.312: 336-338.

Gould, G.W. 1995. *New methodes food preservarief*. New York: Me. Graw Hill.  
Jay, J.M., (2000). *Modern Food Microbiology*, 6th. Ed. Aspen Publisher, Inc., Maryland.

Katsir, Ibnu Al-Imam Abul Fida Ismail. 2000. *Tafisr Ibnu Kasir Juz 1*. Bandung: Sinar Baru Algesino.

Kuffel, dkk. 2000. *High Voltage Engineering 2nd Edition*. Oxford. Butterworth Heinemann

L. Tobing, Bonggas. 2003. *Peralatan Tegangan Tinggi*. Jakarta: Gramedia Pustaka Utama

L. Tobing, Bonggas. 2003. *Dasar Teknik Pengujian Tegangan Tinggi*. Jakarta: Gramedia Pustaka Utama.

Lund, B.M. 1990. Pasteurization of Milk and the Heat Resistance of *Mycobacterium avium* subsp. *paratuberculosis*: acritical review of the data. *Int. Journal. Food Microbiol.*77: 135-145

Malvino, 1992. *Prinsip-prinsip Elektronika (Edisi Terjemahan)*. Jakarta: Erlangga.

Malvino, 1996. *Prinsip-prinsip Elektronika Edisi Kedua*. Erlangga; Jakarta

Muhammad, A. (2002). *Sifat Kimiawi, Fisik dan Mikrobiologis Susu*. Semarang: UNDIP.

Naidu, M.S dan V. Kamaraju. 1996. *High Voltage Engineering Second Edition*. New Delhi: McGraw Hill.

Nurismanto.R., Sudaryati., dan Rahmila.P.R. 2009. *Inaktivasi Mikroba Staphylococcus Aureus dan Susu Menggunakan Medan Listrik Berdenyut Tinggi*. Prodi Teknologi Pangan. Universitas UPN Veteran: 68-73

Pikiran Rakyat online Jum'at 19/2/2016

Qurthubi. 2008. *Tafsir al-Qurthubi*. Jakarta: Pustaka Azam.

Reka, S. Rio, 1999. *Fisika dan teknologi semikonduktor*. Jakarta: Pradnya Paramita.

Resnawati, H. 2010. *Kualitas Susu pada Berbagai Pengolahan dan Penyimpanan (online)*,

(<http://peternakan.litbang.deptan.go.id/fullteks/lokakarya/loksp08-70.pdf>).  
diakses pada tanggal 30 Januari 2016 pukul 09.30 WIB.

- Roodenburg, Bart. 2011. *Pulsed Electric Field treatment of packaged food*. Netherlands: Ridderkerk
- Rudi, dkk. 2009. *Inaktivasi Mikroba Staphylococcus Aureus dan Susu Menggunakan Medan Listrik Berdenyut Tinggi*. Surabaya: UPN Veteran
- Saleh, Eriza. 2004. *Teknologi Pangan Susu dan Hasil Ikutan Ternak*. Fakultas Pertanian. Universitas Sumatera Utara Medan
- Setiawan, D., Argo, D.B., dan Sumarlan, H.S. 2014. Rancang Bangun Pulsed Electric Field Sistem Batch dengan Konfigurasi Elektroda Berjenis Co-Axial. *Jurnal Keteknikaan Pertanian Tropis dan Biosistem*. Vol.2 No.2
- Shihab, M. Quraish. 1996. *Wawasan al-Quran Tafsir Maudhui atas Pelbagai Persoalan Umat*. Bandung: Mizan.
- Shihab, M. Quraish. 2001. *Tafsir Al-Misbah "Pesan, Kesan Keserasian al-Quran Vol.3*. Ciputat: Lentera Hati.
- SNI 2011. *Standarisasi Nasional Indonesia Susu Segar Bagian Satu*, Jakarta: SNI
- Sumoprastowo. 2000. *Memilih dan Menyimpan Sayur-Mayur, Buah-Buahan, dan Bahan Makanan. Cetakan pertama Edisi 1*. Jakarta: Bumi Aksara
- Susanto. 2006. *Rangkaian Elektronika*. Jakarta: UI Press
- Sutherland, P.S. 1989. *Listeria monocytogenes*. In: *Foodborne Microorganisms of Public Health Significance*. 4th Ed. Australian Institute of Food Science and Technology Incorporated (NSW Branch).pp. 289-311.
- Sutrisno, 1985. *Elektronika 2 Teori dan Penerapannya*. Bandung: ITB.
- Sutrisno. 1979. *Fisika Dasar Listrik Magnet dan Termofisika*. Bandung: ITB
- Tipler, P. 1991. *Fisika untuk Sains dan Teknik Edisi Ketiga Jilid 1*. Jakarta: Erlangga
- Tirono, M. 2013. Efek Medan Listrik AC terhadap Pertumbuhan Bakteri *Klasiella Pneumonia*. *Jurnal Neutrino*. Vol.5 No.2
- Volk, W.A. and M.F. Wheeler. 1990. *Mikrobiologi Dasar Edisi ke-5*. Jakarta: Erlangga

Waluyo, L. 2004. *Mikrobiologi Umum*. Malang: Universitas Muhammadiyah Press.

Yohanes, H. C. 1979. *Dasar-dasar Elektronika*. Ghalia Indonesia; Jakarta

Yulias. 2009. *Pemeriksaan Mikrobiologik Susu Sapi Murni Dari Kecamatan Musuk Kabupaten Boyolali*. [Skripsi]. Fak. Farmasi. Ums Surakarta.

Zhang QH, Barbosa-Cánovas GV and Swanson BG. (1995). Engineering aspects of pulsed electric field pasteurization. *Journal Food Engg*, 25: 261–281.



**Lampiran 1 Data Hasil Koloni Bakteri *Listeria monocytogenes* dan *Salmonella typhimurium* setelah di papari dengan medan listrik beserta kontrol**

1. Variasi Frekuensi dengan lama paparan 15 menit bakteri *Listeria monocytogenes*

Frekuensi	Jumlah koloni (CFU/ml)			Rata-rata	Kontrol
	I	II	III		
15 Hz	3,407 x 10 <sup>8</sup>	5,076 x 10 <sup>8</sup>	4,512 x 10 <sup>8</sup>	4,332 x 10 <sup>8</sup>	20,796 x 10 <sup>8</sup>
25 Hz	2,115 x 10 <sup>8</sup>	3,121 x 10 <sup>8</sup>	2,979 x 10 <sup>8</sup>	2,738 x 10 <sup>8</sup>	
50 Hz	0,968 x 10 <sup>8</sup>	0,579 x 10 <sup>8</sup>	1,599 x 10 <sup>8</sup>	1,049 x 10 <sup>8</sup>	
100 Hz	0,288 x 10 <sup>8</sup>	1,528 x 10 <sup>8</sup>	0,553 x 10 <sup>8</sup>	0,780 x 10 <sup>8</sup>	

2. Variasi waktu paparan dengan frekuensi 100 Hz Bakteri *Listeria monocytogenes*

Waktu paparan	Jumlah koloni (CFU/ml)			Rata-rata	Kontrol
	I	II	III		
5 menit	0,928 x 10 <sup>8</sup>	1,543 x 10 <sup>8</sup>	1,004 x 10 <sup>8</sup>	1,158 x 10 <sup>8</sup>	20,796 x 10 <sup>8</sup>
10 menit	0,757 x 10 <sup>8</sup>	0,694 x 10 <sup>8</sup>	0,846 x 10 <sup>8</sup>	0,756 x 10 <sup>8</sup>	
15 menit	0,673 x 10 <sup>8</sup>	0,713 x 10 <sup>8</sup>	0,598 x 10 <sup>8</sup>	0,661 x 10 <sup>8</sup>	
20 menit	0,577 x 10 <sup>8</sup>	0,473 x 10 <sup>8</sup>	0,674 x 10 <sup>8</sup>	0,575 x 10 <sup>8</sup>	
25 menit	0,416 x 10 <sup>8</sup>	0,323 x 10 <sup>8</sup>	0,489 x 10 <sup>8</sup>	0,409 x 10 <sup>8</sup>	

3. Variasi frekuensi dengan waktu paparan 15 menit bakteri *Salmonella typhimurium*

Frekuensi	Jumlah koloni (CFU/ml)			Rata-rata	Kontrol
	I	II	III		
15 Hz	4,124 x 10 <sup>8</sup>	5,023 x 10 <sup>8</sup>	4,524 x 10 <sup>8</sup>	4,557 x 10 <sup>8</sup>	28,6 x 10 <sup>8</sup>
25 Hz	3,440 x 10 <sup>8</sup>	3,071 x 10 <sup>8</sup>	4,125 x 10 <sup>8</sup>	3,545 x 10 <sup>8</sup>	
50 Hz	1,407 x 10 <sup>8</sup>	2,086 x 10 <sup>8</sup>	1,976 x 10 <sup>8</sup>	1,823 x 10 <sup>8</sup>	
100 Hz	0,985 x 10 <sup>8</sup>	0,096 x 10 <sup>8</sup>	1,079 x 10 <sup>8</sup>	0,722 x 10 <sup>8</sup>	

4. Variasi waktu paparan dengan frekuensi 100 Hz bakteri *Salmonella typhimurium*

Waktu paparan	Jumlah koloni (CFU/ml)			Rata-rata	Kontrol
	I	II	III		
10 menit	4,807 x 10 <sup>8</sup>	5,017 x 10 <sup>8</sup>	4,016 x 10 <sup>8</sup>	4,613 x 10 <sup>8</sup>	28,6 x 10 <sup>8</sup>
15 menit	4,497 x 10 <sup>8</sup>	3,116 x 10 <sup>8</sup>	4,576 x 10 <sup>8</sup>	4,068 x 10 <sup>8</sup>	
20 menit	2,758 x 10 <sup>8</sup>	2,016 x 10 <sup>8</sup>	2,003 x 10 <sup>8</sup>	2,259 x 10 <sup>8</sup>	
25 menit	1,772 x 10 <sup>8</sup>	2,052 x 10 <sup>8</sup>	2,563 x 10 <sup>8</sup>	2,129 x 10 <sup>8</sup>	
30 menit	0,074 x 10 <sup>8</sup>	0,965 x 10 <sup>8</sup>	1,579 x 10 <sup>8</sup>	0,8872 x 10 <sup>8</sup>	



**Lampiran 2 Data Hasil Presentase penurunan kematian Bakteri *Listeria monocytogenes* dan *Salmonella typhimurium* setelah dipapar oleh medan listrik berpulsa**

1. Variasi Frekuensi dengan waktu paparan 15 menit pada Bakteri *Listeria monocytogenes*

Frekuensi (Hz)	Prosentase penurunan kematian jumlah bakteri( %)
15	79,16%
25	86,83%
50	94,95%
100	96,24%

2. Variasi waktu paparan dengan frekuensi 100 Hz pada bakteri *Listeria monocytogenes*

Waktu paparan	Prosentase penurunan kematian jumlah bakteri (%)
5 menit	94,43%
10 menit	96,36%
15 menit	96,82%
20 menit	97,23%
25 menit	98,03%

3. Variasi frekuensi dengan waktu paparan 15 menit pada bakteri *Salmonella typhimurium*

Frekuensi (Hz)	Prosentase penurunan kematian jumlah bakteri( %)
15	84,06%
25	87,60%
50	93,62%
100	97,47%

4. Variasi waktu paparan dengan frekuensi 100 Hz pada bakteri *Salmonella typhimurium*

Waktu paparan	Prosentase penurunan kematian jumlah bakteri (%)
10 menit	83,87%
15 menit	85,77%
20 menit	92,10%
25 menit	92,55%
30 menit	96,89%

### Lampiran 3 Perhitungan

#### 1.1 Hasil pada Rangkaian

- Di dapatkan tegangan keluaran **V** sebesar 18 kV
- Jarak antar pelat **d** sebesar 2,5cm
- Bahan dielektrik yang digunakan bejenis 2 atau HDPE *high density poly etilen* dengan ketentuan nilai konstanta dielektrik **k** sebesar 2-3,5
- Nilai medan listrik E

$$E = \frac{V}{k \times d} = \frac{18 \text{ kV}}{2 \times 2,5 \text{ cm}} = 3,6 \text{ kV/cm}$$

#### 1.2 Hasil variasi frekuensi

1. 6 kotak dengan 6 garis dengan 10 ms time/div

Cara menghitung:  $6,6 \times 10 \cdot 10^{-3} = 5,6 \times 10^{-2}$

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{5,6 \times 10^{-2}} = 15 \text{ Hz}$$

2. 4 kotak dengan 10 ms time/div

Cara menghitung:  $4 \times 10 \cdot 10^{-3} = 4 \times 10^{-2}$

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{4 \times 10^{-2}} = 25 \text{ Hz}$$

3. 2 kotak dengan 10ms time/div

Cara menghitung:  $2 \times 10 \cdot 10^{-3} = 2 \times 10^{-2}$

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{2 \times 10^{-2}} = 50 \text{ Hz}$$

4. 1 kotak dengan 10ms time/div

Cara menghitung:  $1 \times 10 \cdot 10^{-3} = 1 \times 10^{-2}$

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{1 \times 10^{-2}} = 100 \text{ Hz}$$

#### Lampiran 4 Analisis tabel Anova

1. Pengaruh variasi frekuensi terhadap jumlah bakteri hidup pada *Listeria monocytogenes*

**ANOVA**

DATA

	Sum of Squares	Df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	24,633	3	8,211	18,830	,001
Within Groups	3,489	8	,436		
Total	28,122	11			

**DATA**

Duncan<sup>a</sup>

FREKUENSI	N	Subset for alpha = 0.05		
		1	2	3
4,00	3	,7670		
3,00	3	1,0487		
2,00	3		2,7383	
1,00	3			4,3317
Sig.		,616	1,000	1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3,000.

2. Pengaruh waktu paparan dengan jumlah bakteri hidup pada bakteri *Listeria monocytogenes*

**ANOVA**

DATA

	Sum of Squares	Df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	,945	4	,236	8,520	,003
Within Groups	,277	10	,028		
Total	1,223	14			

DATA

Duncan<sup>a</sup>

Waktu paparan	N	Subset for alpha = 0.05		
		1	2	3
5,00	3	,4093		
4,00	3	,5747	,5747	
3,00	3	,6613	,6613	
2,00	3		,7657	
1,00	3			1,1583
Sig.		,107	,209	1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3,000.

3. Pengaruh variasi frekuensi terhadap jumlah bakteri hidup pada *Salmonella typhymurium*

**ANOVA**

DATA

	Sum of Squares	Df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	26,540	3	8,847	38,632	,000
Within Groups	1,832	8	,229		
Total	28,372	11			

**DATA**

Duncan<sup>a</sup>

FREKUENSI	N	Subset for alpha = 0.05			
		1	2	3	4
4,00	3	,7200			
3,00	3		1,8230		
2,00	3			3,5453	
1,00	3				4,5570
Sig.		1,000	1,000	1,000	1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3,000.

4. Pengaruh waktu paparan dengan jumlah bakteri hidup pada bakteri *Salmonella typhimurium*

**ANOVA**

DATA

	Sum of Squares	Df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	28,020	4	7,005	18,699	,000
Within Groups	3,746	10	,375		
Total	31,766	14			

DATA

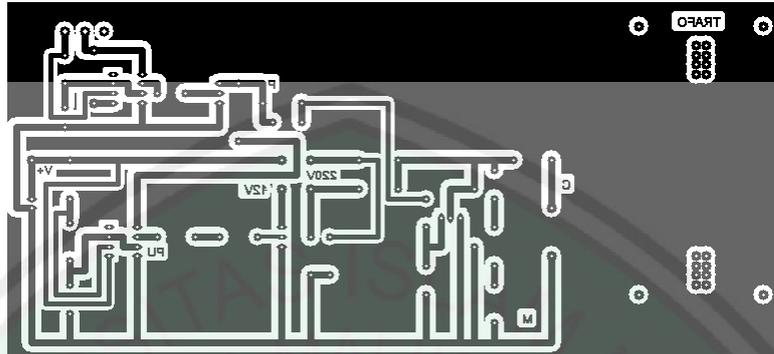
Duncan<sup>a</sup>

Waktu paparan	N	Subset for alpha = 0.05		
		1	2	3
5,00	3	,8727		
4,00	3		2,1290	
3,00	3		2,2590	
2,00	3			4,0630
1,00	3			4,6133
Sig.		1,000	,800	,297

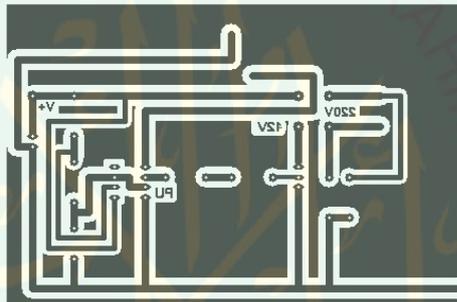
Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3,000.

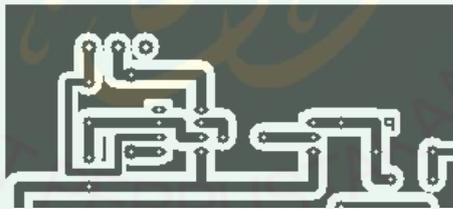
Lampiran 5 Gambar layout PCB skema rangkaian alat



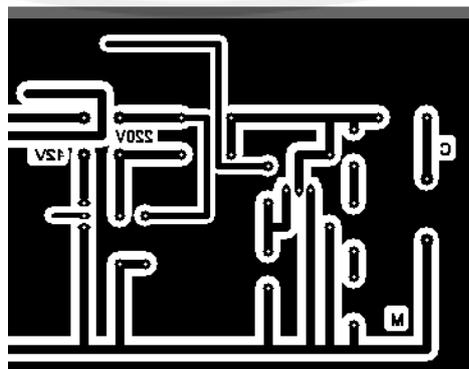
Gambar rangkaian tegangan tinggi secara keseluruhan



Gambar rangkaian osilator ke trafo step up



Gambar rangkaian osilator ke interuptor

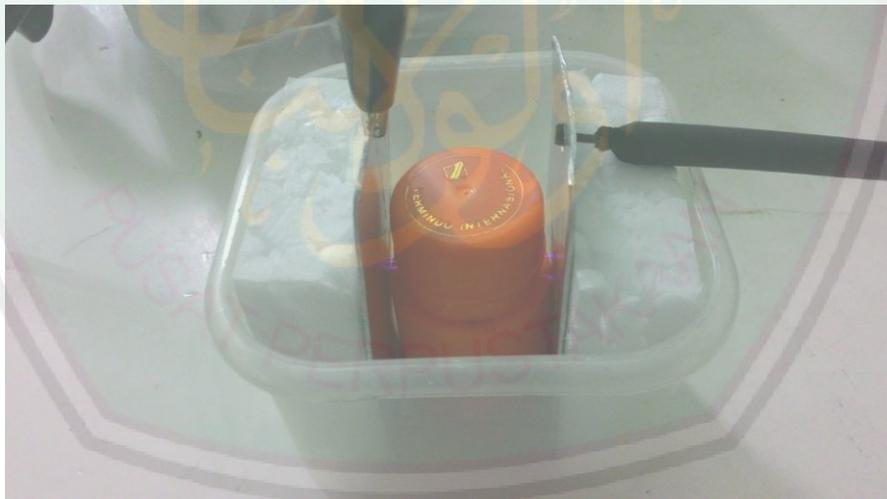


Gambar rangkaian trafo step up ke trafo high voltage

**Lampiran 6 Gambar Alat Medan Listrik Berpulsa**



Gambar rangkaian tampak atas



Gambar ruang perlakuan medan listrik berpulsa

## Lampiran 7 Gambar alat dan bahan penelitian



Gambar autoklaf

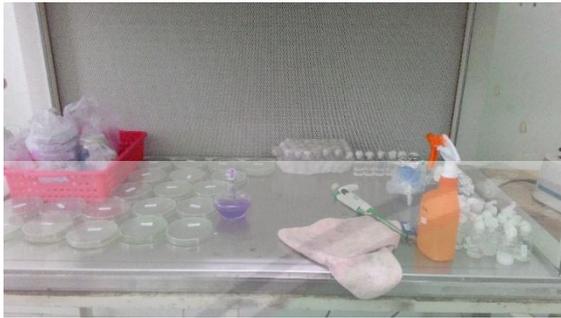
Gambar media PCA



Gambar aquades setelah sterilisasi



Gambar cawan petri setelah sterilisasi



Gambar proses pengenceran



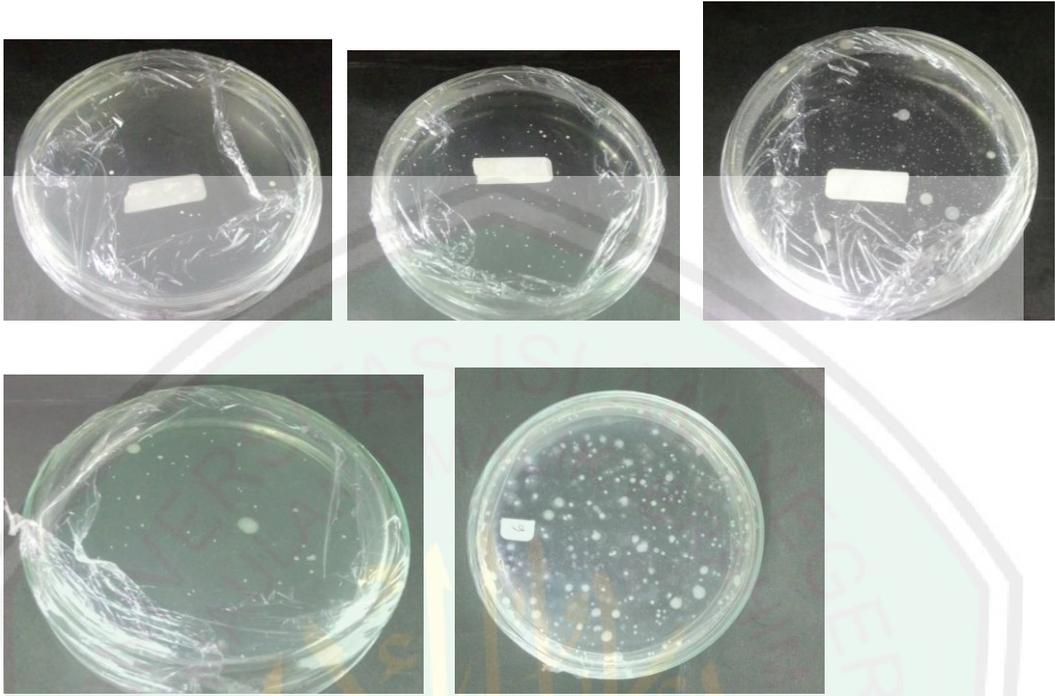
Gambar Inkubator



Gambar Sampel susu

Gambar Coloni counter





Gambar Koloni bakteri



KEMENTERIAN AGAMA RI  
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI (UIN) MAULANA MALIK IBRAHIM MALANG  
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI  
Jl. Gajayana No. 50 Dinoyo Malang (0341) 551345 Fax. (0341) 572533

**BUKTI KONSULTASI SKRIPSI**

Nama : AMILIYATUL MAWADDAH  
NIM : 12640037  
Fakultas/ Jurusan : Sains dan Teknologi/ Fisika  
Judul Skripsi : RANCANG BANGUN MEDAN LISTRIK BERPULSA DENGAN ELEKTRODA KEPING SEJAJAR SEBAGAI ALAT DEAKTIFATOR BAKTERI (STUDI KASUS PADA SUSU KEMASAN)  
Pembimbing I : Farid Samsu Hananto, M.T  
Pembimbing II : Drs. Abdul Basid, M.Si

No	Tanggal	HAL	TandaTangan
1	1 Maret 2016	Konsultasi Bab I, II, dan III	
2	3 Maret 2016	Konsultasi Kajian Agama Bab I dan II	
3	30 Maret 2016	Konsultasi Bab I,II,III dan ACC	
4	23 Juli 2016	Konsultasi Data dan Pengolahan Data	
5	1 Agustus 2016	Konsultasi Data dan Pengolahan Data	
		Konsultasi Kajian Agama Bab IV	
6	18 Agustus 2016	Konsultasi Bab IV dan V	
7	22 Agustus 2016	Konsultasi Bab IV,V dan ACC	
8	30 Agustus 2016	Konsultasi Semua Bab, Abstrak dan ACC	
9	1 September 2016	Konsultasi Agama Bab I,II, IV dan ACC	
10	16 September 2016	ACC keseluruhan	

Malang, 16 September 2016  
Mengetahui,  
Ketua Jurusan Fisika,



Erna Hastuti, M.Si  
NIP. 19811119 200801 2 009