

**MEDAN LISTRIK BERPULSA UNTUK MENGHAMBAT  
PERTUMBUHAN BAKTERI *SALMONELLA TYPHI* PADA SUSU  
SAPI MURNI**

**SKRIPSI**

Oleh:

**MASFUFI SALSABILA**

**NIM. 13640063**



**JURUSAN FISIKA  
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI  
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM  
MALANG  
2019**

**HALAMAN PENGAJUAN**

**MEDAN LISTRIK BERPULSA UNTUK MENGHAMBAT  
PERTUMBUHAN BAKTERI *SALMONELA TYPHI* PADA SUSU  
SAPI MURNI**

**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:**

**MASFUFI SALSABILA  
NIM. 13640063**

**JURUSAN FISIKA  
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI  
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM  
MALANG  
2019**

**HALAMAN PERSETUJUAN**

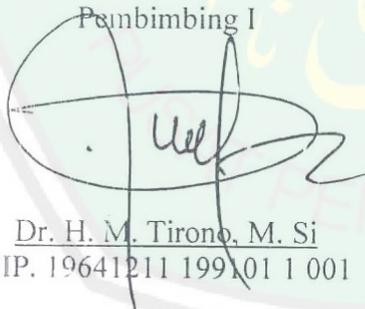
**MEDAN LISTRIK BERPULSA UNTUK MENGHAMBAT  
PERTUMBUHAN BAKTERI *SALMONELA TYPHI* PADA SUSU  
SAPI MURNI**

SKRIPSI

Oleh:  
Masfufi Salsabila  
NIM. 13640063

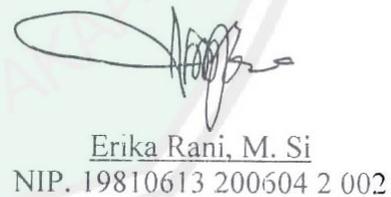
Telah Diperiksa dan Disetujui untuk Diuji  
Pada tanggal 2019

Pembimbing I



Dr. H. M. Tirono, M. Si  
NIP. 19641211 199101 1 001

Pembimbing II



Erika Rani, M. Si  
NIP. 19810613 200504 2 002

Mengetahui  
Ketua Jurusan Fisika



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

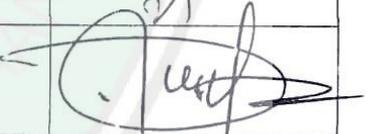
## HALAMAN PENGESAHAN

# MEDAN LISTRIK BERPULSA UNTUK MENGHAMBAT PERTUMBUHAN BAKTERI *SALMONELLA TYPHI* PADA SUSU SAPI MURNI

SKRIPSI

Oleh:  
Masfufi Salsabila  
NIM. 13640063

Telah Dipertahankan Di Depan Dewan Penguji  
Dan Diterima Sebagai Salah Satu Persyaratan  
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Sains (S.Si)  
Pada Tanggal, 28 November 2019

Penguji Utama :	<u>Erna Hastuti M.Si</u> NIP. 19811119 200801 2 009	
Ketua Penguji :	<u>Wiwis Sasmitaninghidayah, M.Si</u> NIDT. 19870215 20180201 2 233	
Sekretaris Penguji :	<u>Dr. H. M. Tirono, M.Si</u> NIP. 19641211 199111 1 001	
Anggota Penguji :	<u>Erika Rani, M.Si</u> NIP. 19810613 200604 2 002	



Mengesahkan,  
Ketua Jurusan Fisika

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

## HALAMAN PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Masfufi Salsabila

NIM : 13640063

Jurusan : Fisika

Fakultas : Sains Dan Teknologi

Judul Penelitian : Medan Listrik Berpulsa untuk Menghambat Pertumbuhan Bakteri *Salmonella typhi* pada Susu Sapi Murni

Menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa hasil penelitian saya ini tidak terdapat unsur-unsur penjiplakan karya penelitian atau karya ilmiah yang pernah dilakukan atau dibuat oleh orang lain, kecuali yang tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka. Apabila ternyata hasil penelitian ini terbukti terdapat unsur-unsur jiplakan maka saya bersedia untuk menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Malang, 24 Oktober 2019  
Yang Membuat Pernyataan



Masfufi Salsabila  
NIM. 13640063

## **MOTTO**

Man jadda wajadda

Makan sehat minum air putih.

Bersenang-senang dahulu, berusaha kemudian.

Rasakan dan Nikmatin.



## HALAMAN PERSEMBAHAN

Skripsi ini saya persembahkan untuk Ayah dan Mama yang selalu membiayai saya sejak belum lahir sampai saat ini. Untuk kak Tia yang memberikan dua keponakan yang ganteng-ganteng yaitu Ziyen dan Zayan. Terutama untuk saya sendiri, kupersembahkan skripsi ini untuk mengenang betapa sangat susahnyanya berjuang pada suatu hal yang tidak kau gemari. Terimakasih.



## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT yang senantiasa memberikan rahmat, taufiq dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Medan Listrik untuk Menghambat Pertumbuhan Bakteri *Salmonella typhi* pada Susu Sapi Murni”. Sholawat serta salam senantiasa tercurahkan kepada Nabi Muhammad SAW yang telah menuntun manusia menuju zaman zakiyah, yakni Addinul Islam Wal Iman.

Penulis menyadari bahwa banyak pihak yang telah berpartisipasi dan membantu dalam menyelesaikan penulisan skripsi ini. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terimakasih kepada semua pihak yang telah membantu dalam menyelesaikan skripsi. Ucapan terimakasih penulis sampaikan kepada:

1. Prof. Dr. H. Abdul Haris, M.Ag selaku Rektor Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
2. Dr. Sri Harini, M.Si selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
3. Drs. Abdul Basid, M.Si selaku Ketua Jurusan Fisika Jurusan Fisika Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang
4. Dr. H. M. Tirono, M.Si selaku Dosen Pembimbing yang senantiasa memberikan saran, arahan, motivasi dan meluangkan waktu untuk membimbing penulis selama proses penyusunan skripsi dengan baik.
5. Erika Rani, M.Si selaku Dosen pembimbing agama yang bersedia meluangkan waktu untuk memberikan bimbingan dalam bidang integrasi sains dan Al-Quran.
6. Erna Hastuti, M.Si selaku Dosen Penguji Utama yang selalu bersabar dalam menguji, memberikan kritik dan masukan untuk hasil penelitian penulis yang lebih baik.
7. Seluruh dosen, Laboran dan Admin Jurusan Fisika Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
8. Ayah, Mama serta keluarga di rumah yang selalu memberi doa dan dukungan, baik riil maupun materiil selama proses penelitian.

9. Diriku sendiri serta alter ego yang ada di dalamnya, yang telah mau bertahan dalam hidup dan berjuang bersama untuk menyelesaikan skripsi ini.
10. Teman-teman kesayanganku yaitu Papa Najib, Om Ruby, Cigulaku Cindy yang senantiasa menemani disaat senang dan menghilang disaat sama-sama stress dan susah.
11. Adek terbaikku, Jiji aka Alfie Fauziah yang selalu memberikan dukungan untuk diriku disaat depresi datang dan memberikan tamparan keras dalam mengambil keputusan untuk diriku.
12. Semua pihak yang secara langsung maupun tidak langsung memberikan dukungan dalam penulisan skripsi ini.

Dalam penyusunan skripsi ini, penulis menyadari bahwa masih terdapat banyak kekurangan dan kekeliruan. Untuk itu, penulis mengharapkan segala kritik dan saran yang bersifat membangun. Demikian yang dapat penulis sampaikan, semoga skripsi ini dapat bermanfaat dan menambah pengetahuan bagi orang lain.

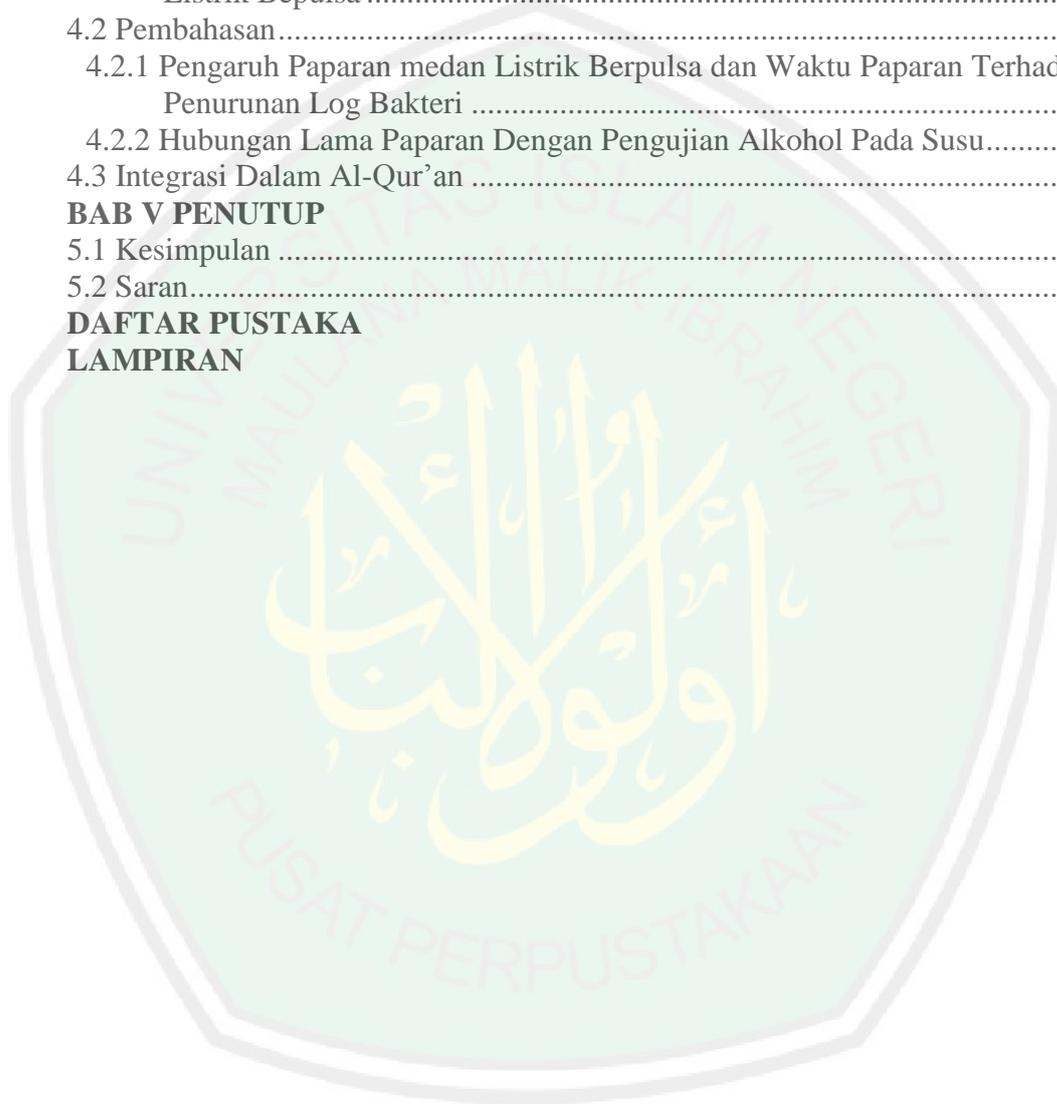
Malang, 13 September 2019

Penulis

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	i
<b>HALAMAN PENGAJUAN</b> .....	ii
<b>HALAMAN PERSETUJUAN</b> .....	iii
<b>HALAMAN PENGESAHAN</b> .....	iv
<b>HALAMAN PERNYATAAN</b> .....	v
<b>MOTTO</b> .....	vi
<b>HALAMAN PERSEMBAHAN</b> .....	vii
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	viii
<b>DAFTAR ISI</b> .....	x
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xii
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xiii
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	xiv
<b>ABSTRAK</b> .....	xv
<b>BAB I PENDAHULUAN</b>	
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	6
1.3 Tujuan Penelitian .....	6
1.4 Manfaat Penelitian .....	7
1.5 Batasan Masalah .....	7
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b>	
2.1 Medan Listrik pada Pelat Sejajar .....	8
2.2 Polarisasi Elektronik .....	16
2.3 Potensial Transmembran pada Bakteri .....	20
2.4 Efek Medan Listrik Terhadap Kematian Bakteri .....	21
2.5 Bakteri <i>Salmonella typhi</i> .....	25
2.6 Susu Sapi .....	27
2.7 Uji Alkohol dan Keasaman pada Susu .....	30
<b>BAB III METODE PENELITIAN</b>	
3.1 Jenis Penelitian .....	32
3.2 Waktu dan Tempat Penelitian .....	32
3.3 Alat dan Bahan .....	32
3.3.1 Alat .....	32
3.3.2 Bahan .....	34
3.4 Desain Rangkaian Alat .....	34
3.5 Rancangan Penelitian .....	35
3.6 Prosedur Penelitian .....	37
3.6.1 Sterilisasi .....	37
3.6.2 Pembuatan Media NA ( <i>Nutrien Agar</i> ) .....	37
3.6.3 Pembuatan Media NB ( <i>Nutrien Broth</i> ) .....	37
3.6.4 Pembuatan Media PCA ( <i>Plate Count Agar</i> ) .....	38
3.6.5 Penumbuhan Bakteri .....	38
3.6.6 Penumbuhan Bakteri pada Susu .....	38
3.6.7 Paparan Medan Listrik .....	39
3.6.8 Penghitungan Koloni Bakteri .....	39
3.7 Teknik Pengumpulan Data .....	40

3.8 Teknik Analisis Data.....	42
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN</b>	
4.1 Hasil Penelitian .....	43
4.1.1 Pengaruh Paparan Medan Listrik Berpulsa Terhadap Penurunan Jumlah Koloni Bakteri <i>Salmonella typhi</i> pada Susu Sapi .....	45
4.1.2 Pengaruh Lama Paparan Medan Listrik Berpulsa terhadap Penurunan Jumlah Koloni Bakteri <i>Salmonella typhi</i> pada Susu Sapi .....	50
4.1.3 Data Hasil pengujian Alkohol pada Susu Sapi Setelah Dipapari Medan Listrik Bepulsa .....	55
4.2 Pembahasan.....	57
4.2.1 Pengaruh Paparan medan Listrik Berpulsa dan Waktu Paparan Terhadap Penurunan Log Bakteri .....	57
4.2.2 Hubungan Lama Paparan Dengan Pengujian Alkohol Pada Susu.....	59
4.3 Integrasi Dalam Al-Qur'an .....	60
<b>BAB V PENUTUP</b>	
5.1 Kesimpulan .....	64
5.2 Saran.....	65
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	
<b>LAMPIRAN</b>	



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Arah garis gaya medan listrik pada pelat sejajar .....	9
Gambar 2.2	Kapasitor keping sejajar dan arah medan listrik kapasitor keping sejajar .....	11
Gambar 2.3	Diagram perusakan membran sel.....	23
Gambar 2.4	Elektroporasi membran sel .....	23
Gambar 3.1	Rangkaian alat perlakuan bakteri <i>Salmonella typhi</i> .....	34
Gambar 3.2	Alur rancangan penelitian .....	36
Gambar 4.1	Bentuk gelombang set medan listrik berpulsa yang digunakan untuk penelitian .....	43
Gambar 4.2	Grafik hubungan variasi kuat medan listrik berpulsa terhadap penurunan jumlah koloni bakteri <i>Salmonella typhi</i> .....	46
Gambar 4.3	Plot analisis penurunan jumlah rata-rata koloni bakteri <i>Salmonella typhi</i> setelah dipapari medan listrik berpulsa selama 5 menit .....	48
Gambar 4.4	Plot analisis penurunan jumlah rata-rata koloni bakteri <i>Salmonella typhi</i> setelah dipapari medan listrik berpulsa selama 15 menit .....	48
Gambar 4.5	Plot analisis penurunan jumlah rata-rata koloni bakteri <i>Salmonella typhi</i> setelah dipapari medan listrik berpulsa selama 25 menit .....	49
Gambar 4.6	Grafik entang pengaruh lama paparan (5menit, 10 menit, 15 menit, 20 menit, 25 menit) pada penurunan jumlah koloni bakteri <i>Salmonella typhi</i> .....	51
Gambar 4.7	Plot analisis penurunan jumlah rata-rata koloni bakteri <i>Salmonella typhi</i> dengan pemaparan medan listrik berpulsa sebesar 2,5 kV/cm	52
Gambar 4.8	Plot analisis penurunan jumlah rata-rata koloni bakteri <i>Salmonella typhi</i> dengan pemaparan medan listrik berpulsa sebesar 3 kV/cm	53
Gambar 4.9	Plot analisis penurunan jumlah rata-rata koloni bakteri <i>Salmonella typhi</i> dengan pemaparan medan listrik berpulsa sebesar 3,5 kV/cm	53
Gambar 4.10	Plot analisis penurunan jumlah rata-rata koloni bakteri <i>Salmonella typhi</i> dengan pemaparan medan listrik berpulsa sebesar 4 kV/cm	54

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Nilai konstanta dielektrik.....	15
Tabel 2.2 Perbandingan komposisi susu segar dan susu pasteurisasi.....	28
Tabel 3.1 Data hasil pengamatan medan listrik.....	41
Tabel 3.2 Data hasil pengamatan uji alkohol .....	42
Tabel 4.1 Data penurunan jumlah koloni bakteri <i>Salmonella typhi</i> setelah dipapari medan listrik berpulsa.....	45
Tabel 4.2 Data penurunan jumlah koloni bakteri <i>Salmonella typhi</i> setelah dipapari medan listrik berpulsa.....	50
Tabel 4.3 Data hasil uji alkohol pada susu sapi setelah dipapari medan listrik berpulsa.....	56



## DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1 Tabel Data Pengaruh Medan Listrik Berpulsa terhadap Jumlah Rata-Rata Koloni Bakteri *Salmonella typhi*.
- Lampiran 2 Tabel Data Pengaruh Medan Listrik Berpulsa terhadap Penurunan Jumlah Rata-Rata Koloni Bakteri *Salmonella typhi*.
- Lampiran 3 Tabel Data Kenaikan Jumlah Koloni Bakteri *Salmonella typhi*.
- Lampiran 4 Data Pengaruh Lama Penyimpanan terhadap Pengujian Alkohol pada Susu Sapi setelah dipapari Medan Listrik Berpulsa.
- Lampiran 5 Grafik Hubungan Besar Medan Listrik Berpulsa terhadap Penurunan Jumlah Rata-Rata Koloni Bakteri *Salmonella typhi*.
- Lampiran 6 Grafik Hubungan Lama Paparan terhadap Penurunan Jumlah Rata-Rata Koloni Bakteri *Salmonella typhi*.
- Lampiran 7 Perhitungan Hubungan Besar Medan Listrik Berpulsa terhadap Penurunan Jumlah Rata-Rata Koloni Bakteri *Salmonella typhi*.
- Lampiran 8 Perhitungan Hubungan Lama Paparan terhadap Penurunan Jumlah Rata-Rata Koloni Bakteri *Salmonella typhi*.
- Lampiran 9 Alat dan Bahan Penelitian.
- Lampiran 10 Proses Pengambilan Data.
- Lampiran 11 Hasil Perkembangan Bakteri *Salmonella typhi* yang Terpapar Medan Listrik.

## ABSTRAK

Salsabila, Masfufi. 2019. **Medan Listrik Berpulsa Untuk Menghambat Pertumbuhan Bakteri *Salmonella typhi* Pada Susu Sapi Murni**. Skripsi. Jurusan Fisika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang. Pembimbing: (I) Dr. H. M. Tirono, M.Si (II) Erika Rani, M.Si

---

**Kata Kunci:** Susu Sapi, *Salmonella typhi*, Medan Listrik, Lama Paparan, Uji Alkohol

Susu sapi adalah salah satu bahan pangan yang mudah rusak atau *perishable* karena mempunyai kandungan gizi yang tinggi. Salah satu bakteri yang mudah berkembang biak dalam susu sapi adalah *Salmonella typhi*. Untuk menonaktifkan bakteri *Salmonella typhi* dan menjaga kualitas susu serta penghematan energi, maka digunakan teknologi paparan dengan medan listrik berpulsa. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui nilai minimal medan listrik dan waktu minimum yang tepat untuk mengurangi pertumbuhan jumlah koloni bakteri *Salmonella typhi* pada susu sapi dengan menggunakan metode paparan susu yang sudah terkontaminasi dengan bakteri. Paparan yang diberikan berdasarkan variasi medan listrik sebesar 2-4 kV/cm dan variasi waktu selama 5-25 menit, kemudian dihitung jumlah bakteri dan dianalisis jumlah koloni bakteri yang mati serta dilihat perubahan kandungan alkohol yang ada pada susu sapi. Hasil dari pengujian menunjukkan bahwa semakin kecil kuat medan listrik dan semakin lama paparan yang diberikan dapat menonaktifkan bakteri *Salmonella typhi* pada susu sapi. Kuat medan listrik (E) minimal yang dibutuhkan untuk menonaktifkan bakteri *Salmonella typhi* pada saat paparan selama 5 menit adalah  $E = 4,78$  kV/cm, pada paparan selama 15 menit adalah  $E = 4,72$  kV/cm, dan pada paparan 25 menit adalah  $E = 4,63$  kV/cm. Sedangkan lama paparan minimal untuk menonaktifkan bakteri *Salmonella typhi* pada  $E = 2,5$  kV/cm adalah 686,58 menit, pada  $E = 3$  kV/cm adalah 83,78 menit, pada  $E = 3,5$  kV/cm adalah 77,53 menit, dan pada  $E = 4$  kV/cm adalah 74,22 menit. Semakin lama masa simpan susu dalam suhu ruangan dari 4 jam, 8 jam dan 12 jam maka semakin positif susu mengandung alkohol.

## ABSTRACT

Salsabila, Masfufi. 2019. Pulsed Electric Fields in inhibiting the Growth of *Salmonella typhi* Bacteria in Pure Cow's Milk. Thesis. Department of Physics, Faculty of Science and Technology, Maulana Malik Ibrahim State Islamic University of Malang. Supervisor: (I) Dr. H. M. Tirono, M.Sc (II) Erika Rani, M.Sc

---

Keywords: Cow's Milk, *Salmonella typhi*, Electric Field, Exposure Time, Alcohol Test

Cow's milk is one of foodstuffs that are easily damaged or perishable due to high nutritional content. One of the bacteria that is easy to breed in cow's milk is *Salmonella typhi*. In deactivating the *Salmonella typhi* bacteria and maintaining milk quality and saving energy, it uses a pulse electric field exposure technology. The purposes of the research are determine the minimum value of the electric field and the right minimum time in reducing the growth of the number of colonies of *Salmonella typhi* in cow's milk using the method of milk exposure that has been contaminated with bacteria. The exposure is based on variations in the electric field of 2-4 kV / cm and time variations for 5-25 minutes, then counted the number of bacteria and analyzed the number of dead bacterial colonies and seen the changes in alcohol content in cow's milk. The results of the test showed that the smaller in the electric field strength and the longer in the exposure and it can deactivate *Salmonella typhi* bacteria in cow's milk. The minimum electric field strength (E) that is needed to deactivate *Salmonella typhi* bacteria during exposure for 5 minutes is  $E = 4.78$  kV/cm, on exposure for 15 minutes is  $E = 4.72$  kV/cm, and at 25 minutes exposure is  $E = 4.63$  kV / cm. The minimum exposure time to deactivate salmonella typhi bacteria at  $E = 2.5$  kV/cm is 686.58 minutes, at  $E = 3$  kV/cm is 83.78 minutes, at  $E = 3.5$  kV/cm is 77.53 minutes, and at  $E = 4$  kV/cm is 74.22 minutes. The longer in the shelf life of milk at room temperature of 4 hours, 8 hours and 12 hours, the more positive in the milk with alcohol contains.

## مستخلص البحث

سلسبيلا، مصفوفي. 2019. المجال الكهربائي النابض لتحريج نمو بكتيريا *Salmonella typhi* في حليب البقر النقي.

البحث الجامعي. قسم الفيزياء، كلية العلوم والتكنولوجيا، جامعة مولانا مالك إبراهيم الإسلامية الحكومية مالانج.

المشرف: (1) د. الحاج تيرانو، الماجستير، (2) إريكا راني، الماجستير

الكلمات الأساسية: حليب البقر، *Salmonella typhi*، المجال الكهربائي، وقت التعرض، اختبار الكحول

حليب البقر هو واحد من المواد الغائية التي تضررت بالسهولة لأنه يحتوي على نسبة غذائية عالية. واحدة من البكتيريا التي تتكاثر بالسهولة في حليب البقر هي *Salmonella typhi*. لإلغاء تنشيط بكتيريا *Salmonella typhi* ولحفظ جودة الحليب ولتوفير الطاقة، فتستخدم تكنولوجيا التعرض بالمجال الكهربائي النابض. والهدف من هذا البحث هو لمعرفة الحد الأدنى لقيمة المجال الكهربائي والحد الأدنى للوقت المناسب لتقليل عدد مستعمرات نمو بكتيريا *Salmonella typhi* في حليب البقر النقي باستخدام طريقة تعرض الحليب الملوث بالبكتيريا. يعتمد التعرض المحدد على اختلافات المجال الكهربائي مقداره 2-4 كيلو فولت / سم واختلاف الوقت لمدة 5-25 دقيقة. ثم يتم حساب عدد البكتيريا وتحليل عدد المستعمرات البكتيرية الميتة ونظر تغييرات محتوى الكحول في حليب البقر. دلت نتيجة هذا البحث أن المجال الكهربائي يتصاغر ويتطاول فترة التعرض يسبب إلغاء تنشيط بكتيريا *Salmonella typhi* في حليب البقر. قوة المجال الكهربائي (هـ) المحتاج لإلغاء تنشيط بكتيريا *Salmonella typhi* في وقت التعرض لمدة 5 دقائق هو هـ = 4.78 كيلو فولت / سم، في وقت التعرض لمدة 15 دقيقة هو هـ = 4.72 كيلو فولت / سم، وفي وقت التعرض لمدة 25 دقيقة هو هـ = 4.63 كيلو فولت / سم. وأما طول التعرض للحد الأدنى لإلغاء تنشيط بكتيريا *Salmonella typhi* هـ = 2.5 كيلو فولت / سم هو 686.58 دقيقة، في هـ = 3 كيلو فولت / سم هو 83.78 دقيقة، في هـ = 3.5 كيلو فولت / سم هو 77.53 دقيقة، وفي هـ = 4 كيلو فولت / سم هو 74.22 دقيقة. كلما طال العمر الافتراضي للحليب في درجة حرارة الغرفة من 4 ساعات، و 8 ساعات، و 12 ساعة كلما كان الحليب أكثر إيجابية.

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Susu merupakan salah satu bahan pangan yang banyak dikonsumsi oleh masyarakat, diantaranya balita, anak-anak, dan orang tua sebagai salah satu sumber makanan pokok. Susu merupakan minuman yang mempunyai kandungan gizi tinggi dengan proporsi seimbang karena mengandung unsur-unsur kimia yang dibutuhkan oleh tubuh seperti vitamin, kalsium, mineral, protein, dan lemak yang tinggi. Kandungan gizi yang tinggi pada susu menyebabkan mikroba mudah tumbuh dan berkembang biak, sehingga susu menjadi salah satu bahan pangan yang mudah rusak (*perishable*). Susu mudah tercemar oleh mikroba ketika proses pemerahan maupun pengolahan, dimana hal tersebut menjadikan masa simpan susu menjadi relatif singkat yaitu sekitar 5 jam apabila disimpan dalam suhu ruang (Lingathurai, dkk., 2009). Kontaminasi bakteri dimulai setelah susu keluar dari ambing dan jumlah bakteri akan semakin meningkat pada jalur susu yang lebih panjang (Millogo, dkk., 2010).

Salah satu kontaminan yang dapat mencemari susu adalah bakteri, beberapa diantaranya adalah *Listeria monocytogenes*, *Camphylobacter jejuni*, *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, *Shigella sp*, *Salmonella sp* (Jayarao, dkk., 2006). Mikroorganisme yang sering merusak susu adalah dari golongan bakteri, baik dari golongan Gram negatif maupun Gram positif. Meskipun kandungan susu sangat bermanfaat bagi tubuh manusia, tetapi apabila dalam

proses pengolahan, penyajian dan penyimpanannya kurang baik akan memberikan efek bagi kesehatan tubuh manusia.

Dalam Al-Qur'an dan Terjemah surah an-Nahl ayat 66 disebutkan:

وَإِنَّ لَكُمْ فِي الْأَنْعَامِ لَعِبْرَةً نُسْقِيكُمْ مِمَّا 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 kotoran dan darah, yang mudah ditelan bagi orang-orang yang meminumnya”* (Q.S. an-Nahl [16]: 66).

Pada kata *من بَيْنِ فَرْثٍ وَدَمٍ* (dari kotoran dan darah) menunjukkan penempatan susu yang berasal dari ambing hewan bahwa warna putih serta manisnya susu benar-benar murni. Susu dalam perut binatang mempunyai jalurnya sendiri diantaranya jalur aliran darah, urin, serta kotoran. Aliran jalur ini masing-masing tidak ada yang saling mengkontaminasi ataupun bercampur satu sama lain. Ayat al-Qur'an di atas menjelaskan pentingnya susu sebagai salah satu bahan pangan pokok karena mempunyai kandungan nutrisi yang melimpah untuk pertumbuhan manusia. Selain itu susu juga mempunyai manfaat untuk menjaga kesehatan tulang dan gigi karena kandungan kalsiumnya yang tinggi. Untuk balita susu berguna mencegah gigi berlubang. Sebagaimana Nabi Muhammad SAW menganjurkan untuk meminum susu, baik itu susu sapi ataupun susu kambing.

Proses pengolahan susu dalam dunia industri menggunakan dua metode yaitu pengolahan panas (*thermal*) dan pengolahan kering (*non-thermal*). Salah satu cara yang paling efektif dalam menurunkan jumlah dan pertumbuhan mikroba adalah dengan menggunakan *thermal*. Penggunaan *thermal* yang kurang

baik akan berdampak pada penurunan kualitas susu khususnya penerimaan sensori (rasa, warna, tekstur dan aroma) dan kandungan nutrisi produk.

Allah SWT berfirman dalam Al-Qur'an surah al-Mukminuun ayat 21 yang mana:

وَإِنَّ لَكُمْ فِي الْأَنْعَامِ لَعِبْرَةً نُسْقِيكُمْ مِمَّا فِي بُطُونِهَا وَلَكُمْ فِيهَا مَنَافِعُ كَثِيرَةٌ وَمِنْهَا تَأْكُلُونَ ﴿٢١﴾

*“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-Mukminuun [23]: 21).

Pada kata لَعِبْرَةً (benar-benar terdapat pelajaran yang penting) yang berarti terdapat bukti atas kekuasaan Allah SWT, maka perhatikanlah proses penciptaan, kehidupan dan manfaat-manfaatnya yang bisa mengantarkanmu pada keimanan, tauhid dan ketaatan. Pada ayat ini menjelaskan bahwa terdapat manfaat yang sangat besar mengenai binatang-binatang ternak seperti halnya pada unta dan sapi. Pada lafadz نُسْقِيكُمْ yang berarti air susu yang keluar diantara kotoran dan darah, ditulis dengan huruf nun yang didhammahkan sehingga menjadi seseorang memberinya minum. Tapi kalau dibaca fathah, berarti seseorang telah meminumnya. Selain itu banyak pula faedah dari hewan ternak itu sendiri berupa bulu, daging, tulang, anak-anak hewan tersebut beserta manfaat yang lainnya (Al-Qur'an dan Terjemah, 2009).

*United States of Food and Drug Administration* (1999) menyatakan *Salmonella sp.* merupakan bakteri yang dapat menyebabkan keracunan dan infeksi

saluran pencernaan pada manusia maupun hewan yang memakannya. Survey terhadap susu segar di USA dan susu segar di UK menunjukkan ditemukannya *Salmonella* secara berturut-turut sebesar 4,7% dan 0,06%. Selain itu masih banyak lagi kejadian keracunan makanan yang diakibatkan oleh bakteri *Salmonella* (salmonellosis). Kontaminasi *Salmonella* pada susu segar biasanya terjadi saat proses pemerahan yang tidak bersih serta sanitasi yang buruk.

Teknologi medan listrik berpulsa (*pulsed electric fields* = PEF) merupakan salah satu teknologi yang memberikan peluang untuk diterapkan dalam menghambat pertumbuhan bakteri pada pengolahan susu. Medan listrik berpulsa dengan intensitas tinggi dapat menjadi alternatif yang menjanjikan untuk proses pasteurisasi seperti makanan cair, termasuk susu dan produk susu yang lain.

Teknologi PEF lebih baik dari metode pemanasan pada makanan berbentuk cair karena dapat menonaktifkan mikroba pada jumlah yang besar, mencegah atau menurunkan penyebab makanan menjadi rusak. Barbosa dkk (2005) menyebutkan bahwa PEF merupakan salah satu metode *non-thermal* untuk pengawetan makanan, karena berpotensi dalam menginaktivasi mikroorganisme sampai 95% tanpa mengubah cita rasa dan kekayaan nutrisi pada makanan dalam waktu yang sangat singkat.

Djajati, dkk (2014) telah melakukan penelitian mengenai penurunan populasi *Salmonella typhi* pada susu dengan menggunakan metode pasteurisasi *non-thermal* yaitu medan listrik berpulsa PEF. Penelitian dilakukan dengan jumlah pulsa bervariasi yaitu dari 0, 100 dan 1000 tegangan. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa inokulasi *Salmonella typhi* yang diinkubasi selama 5 jam

pada suhu 37°C dengan jumlah  $1,98 \times 10^7$  cfu/ml mengalami penurunan populasi bakteri dari perlakuan jumlah pulsa medan listrik 1000 pulsa dan durasi antara pulsa 2  $\mu$ s sebesar 2,225 *log cycle*. Kelemahannya jumlah pulsa yang digunakan tidak berpengaruh terhadap jumlah penurunan bakteri secara spesifik.

Penelitian yang sama telah dilakukan oleh Muslim, dkk (2013) mengenai inaktivasi bakteri *Staphylococcus aureus* menggunakan metode pengolahan pangan *non-thermal* dengan menggunakan medan listrik intensitas tinggi pada makanan cair yaitu susu. Penelitian dilakukan dengan variasi tegangan 20 kV, 40 kV, 60 kV dan 80 kV dengan waktu 90 detik. Hasil penelitian menunjukkan bahwa dengan tegangan 20 kV bakteri *Staphylococcus aureus* berkurang dari  $1.6 \cdot 10^3$  cfu/ml menjadi  $1,157 \cdot 10^3$  cfu/ml dan pada tegangan 80 kV berkurang mencapai  $3,97 \cdot 10^2$  cfu/ml. Kelemahan dari penelitian ini adalah penurunan jumlah bakteri relatif kecil.

Tirono (2013) melakukan penelitian tentang karakterisasi medan listrik untuk menghambat pertumbuhan bakteri *Klebsiella pneumonia* dengan variasi jarak antar elektroda yaitu dari 2 sampai 26 cm. Hasil penelitiannya menunjukkan bahwa semakin besar jarak antar elektroda semakin kecil kuat medan listriknya. Pada jarak 2 cm menghasilkan kuat medan listrik 4,9 kV /cm dengan faktor hambat 0,99 sedangkan pada jarak 26 cm menghasilkan kuat medan listrik 0,31 kV/cm dengan faktor hambat 0,3. Lasmawati (2014) menyebutkan bahwa nilai kuat medan listrik dan lama paparan, berpengaruh terhadap berkurangnya pertumbuhan bakteri *Pseudomonas aeruginosa* yang melekat dan membentuk biofilm pada alat-alat medis.

Berdasarkan penjelasan di atas, dari beberapa penelitian yang telah dilakukan kebanyakan menggunakan medan listrik berpulsa dengan kuat medan listrik yang besar untuk mematikan bakteri yang terkandung pada susu. Oleh karena itu dilakukan penelitian tentang pengaruh paparan medan listrik berpulsa untuk menghambat pertumbuhan bakteri *Salmonella typhi* pada susu sapi segar dengan memvariasikan medan listrik sekecil mungkin dan waktu yang digunakan lebih lama. Perlakuan yang diberikan ini berfungsi untuk penghematan penggunaan total listrik yang banyak. Selain itu dilakukan juga uji alkohol pada susu dengan masa simpan yang lebih lama.

### **1.2 Rumusan Masalah**

1. Berapa medan listrik minimal yang dapat digunakan untuk menghambat bakteri *Salmonella typhi* pada susu sapi murni?
2. Berapa waktu yang digunakan untuk menurunkan jumlah bakteri *Salmonella typhi* paling besar pada susu sapi murni?
3. Bagaimana pengaruh medan listrik berpulsa terhadap test alkohol pada susu sapi murni?

### **1.3 Tujuan Penelitian**

1. Untuk mengetahui jumlah medan listrik minimal yang dapat digunakan untuk menghambat bakteri *Salmonella typhi* pada susu sapi murni
2. Untuk mengetahui waktu yang digunakan untuk menurunkan jumlah bakteri *Salmonella typhi* paling besar pada susu sapi murni

3. Untuk mengetahui pengaruh medan listrik berpulsa terhadap test alkohol pada susu sapi murni

#### **1.4 Manfaat Penelitian**

1. Mengetahui jumlah medan listrik minimal yang digunakan pada susu sapi murni untuk menghambat bakteri *Salmonella typhi* yang dapat mengkontaminasi susu dan menurunkan kandungan yang terdapat pada susu sehingga susu menjadi aman untuk dikonsumsi.
2. Memberikan informasi kepada masyarakat tentang berbagai jenis bakteri yang merusak susu serta mengetahui fungsi medan listrik terhadap pertumbuhan bakteri yang terdapat pada susu.

#### **1.5 Batasan Masalah**

1. Jenis bakteri yang dilihat dalam penelitian ini hanya bakteri *Salmonella typhi*.
2. Penelitian yang dilakukan adalah menghitung jumlah koloni bakteri sesudah pemaparan medan listrik.
3. Variasi medan listrik yang berikan antara 2,5-4 kV/ml.
4. Susu yang digunakan merupakan susu murni yang telah dihomogenkan.
5. Tes alkohol dilihat berdasarkan positif dan negatif alkohol pada susu.

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Medan Listrik pada Pelat Sejajar

Kapasitor adalah sistem yang kapasitif, artinya dapat menyimpan muatan listrik atau medan listrik. Penyimpanan muatan listrik oleh sebuah kapasitor sifatnya hanya sementara, artinya muatan listrik yang tersimpan dalam kapasitor sewaktu-waktu dapat dilepaskan atau dikosongkan. Suatu kapasitor terdiri dari susunan penghantar listrik yang saling berhadapan. Bahan penghantar listrik tersebut bisa berupa pelat atau keping logam atau kawat. Pada dasarnya jika terdapat dua penghantar yang saling berhadapan, sangat dimungkinkan terjadinya efek kapasitif atau dengan kata lain kapasitor.

Kapasitor atau yang biasa disebut sebagai kondensator, adalah sebuah alat yang menyimpan muatan listrik, dan terdiri dari dua benda yang merupakan penghantar listrik (biasanya pelat atau lembaran) yang diletakkan berdekatan tetapi tidak saling menyentuh. Jika kapasitor diberi tegangan, maka jumlah muatan  $Q$  yang didapat oleh setiap pelat sebanding dengan beda potensial  $V$  (Giancoli, 2001):

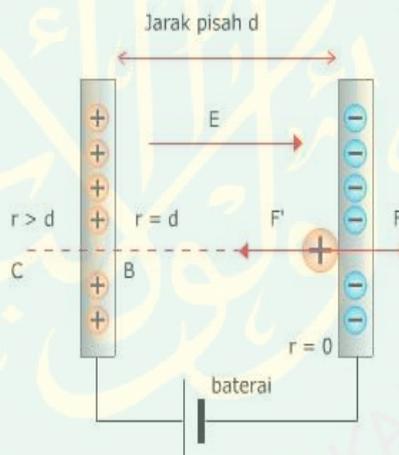
$$Q = C V. \quad (2.1)$$

Kapasitansi pelat sejajar yang masing-masing memiliki luas  $A$  dan dipisahkan oleh jarak  $d$  yang berisi udara, kapasitansinya dinyatakan dengan (Giancoli, 2001):

$$C = \epsilon_0 \frac{A}{d}. \quad (2.2)$$

Misalkan pelat A diberi muatan  $+Q$  dan pelat B bermuatan  $-Q$ . Kuat medan listrik oleh pelat A adalah  $\vec{E}_A$  dan oleh pelat B adalah  $\vec{E}_B$ . Sedangkan rapat muatan pada pelat A adalah  $\sigma_B = -\frac{Q}{A} = -\sigma$ . Maka kuat medan resultan oleh kedua pelat adalah superposisi dari  $\vec{E}_A$  dan  $\vec{E}_B$ , yaitu  $\vec{E} = \vec{E}_A + \vec{E}_B$  (Sutrisno, 1979).

Kuat medan oleh pelat A di sebelah kanan pelat A adalah  $\vec{E}_A = +i \frac{\sigma}{2\epsilon_0}$ . Sedangkan di sebelah kiri kuat medan  $\vec{E}_A = -i \frac{\sigma}{2\epsilon_0}$  (berarah ke kiri). Kuat medan oleh pelat B di sebelah kanan pelat B adalah  $\vec{E}_B = -i \frac{\sigma}{2\epsilon_0}$ , dan di sebelah kiri  $\vec{E}_B = +i \frac{\sigma}{2\epsilon_0}$  (Sutrisno, 1979).



$E_+$  = Medan listrik akibat pelat positif

$E_-$  = Medan listrik akibat pelat negatif

Gambar 2.1 Arah garis gaya medan listrik pada pelat sejajar (Bueche, 2006)

Jadi kuat medan listrik resultan di sebelah kiri pelat sejajar haruslah:

$$\vec{E} = \vec{E}_A + \vec{E}_B = -i \frac{\sigma}{2\epsilon_0} + i \frac{\sigma}{2\epsilon_0} = 0. \quad (2.3)$$

Di dalam pelat sejajar, kuat medan adalah:

$$\vec{E} = \vec{E}_A + \vec{E}_B = +i \frac{\sigma}{2\epsilon_0} + i \frac{\sigma}{2\epsilon_0} = +i \frac{\sigma}{\epsilon_0}. \quad (2.4)$$

Sehingga dapat diambil kesimpulan bahwa kuat medan di dalam pelat sejajar adalah  $E = \sigma/\epsilon_0$  dan di luar pelat sejajar kuat medan sama dengan nol. Bila besar medan listrik telah diketahui, maka dapat diperoleh besar potensial listriknya dengan cara:

$$\phi_B - \phi_A = -\int_A^B E \cdot ds. \quad (2.5)$$

Sebaliknya medan listrik dapat diperoleh dari potensial listrik dengan cara:

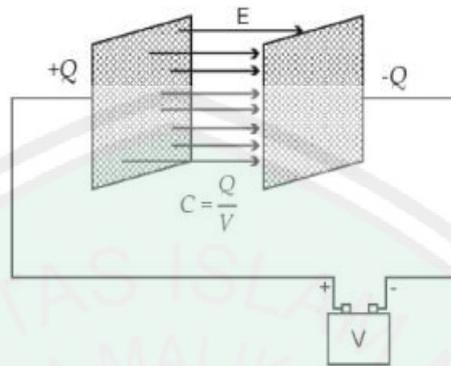
$$E = -\nabla\phi. \quad (2.6)$$

Persamaan (2.6) menunjukkan bahwa bilamana dua pelat sejajar yang masing-masing diberi muatan positif dan negatif, maka medan listrik terbesar ada diantara kedua pelat. Sementara itu untuk pembangkitan medan listrik dapat dilakukan dengan cara memberi beda potensial antara kedua pelat sebagaimana persamaan (2.6). Semakin tinggi beda potensial antara dua pelat, maka akan semakin tinggi kuat medan listriknya dan semakin jauh jarak antara kedua pelat, maka akan semakin rendah kuat medan listriknya.

Benda yang bermuatan listrik disetiap titiknya terdapat kuat medan listrik. Bila muatan diperbesar, maka kuat medan listrik disekitar benda bermuatan listrik tersebut menjadi lebih besar dan sebaliknya. Bila muatannya diperkecil, maka kuat medan listriknya menjadi lebih kecil (Halliday dan Robert, 1991).

Medan listrik disekitar bahan mengakibatkan atom-atom pada bahan membentuk momen-momen dipol listrik. Banyaknya momen-momen dipol 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)

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 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 (-) dari baterai. Muatan  $Q$  yang dipindahkan tersebut sebanding dengan beda potensial (Tipler, 1991).

Dalam Al-Qur'an surah Yasin ayat 36 dijelaskan:

سُبْحَانَ الَّذِي خَلَقَ الْأَزْوَاجَ كُلَّهَا مِمَّا تُنْبِتُ الْأَرْضُ وَمِنْ أَنْفُسِهِمْ وَمِمَّا لَا يَعْلَمُونَ ﴿٣٦﴾

*“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).*

Indikasi ilmiah dari ayat di atas menjelaskan bahwa Maha Suci Allah SWT telah menciptakan segala sesuatu dengan berpasang-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 diketahui orang yaitu pasangan elektron dan positron. Zaghoul (2010) menyatakan bahwa positron ditulis dengan simbol  $e^+$  dan elektron simbol  $e^-$ . 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 .

Dielektrik adalah bahan yang tidak memiliki elektron bebas. Pada kebanyakan kapasitor, ruang diantara kedua pelat sejajar diisi dengan bahan dielektrik agar dengan ukuran yang kecil diperoleh kapasitansi yang besar. Hal ini disebabkan harga kapasitansi akan bertambah dengan faktor K jika seluruh ruang diantara kedua pelat diisi dengan bahan dielektrik. K merupakan suatu besaran tak berdimensi yang menggambarkan kemampuan dielektrik untuk mengurangi atau memperkecil medan listrik luar di dalam dielektrik dan disebut sebagai ketetapan dielektrik.

Banyaknya material dielektrik dapat mengurangi medan listrik yang lebih kuat tanpa kerusakan yang terdapat pada udara. Pada kapasitor pelat sejajar tanpa ada dielektrik mempunyai kapasitansi sebesar  $\epsilon_0$  . Jika kapasitor tersebut dihubungkan dengan sebuah baterai sehingga mempunyai muatan  $Q_0$  dan beda potensial  $V_0$  dimana kapasitor dihubungkan dengan voltmeter dan baterai dilepaskan. Jika ruang di antara pelat-pelat kapasitor diisi dengan bahan dielektrik,

maka akan terlihat bahwa perbedaan potensial  $V_d$  adalah lebih kecil dari pada potensial  $V_0$  dengan faktor  $K$  atau:

$$V_d = \frac{V_0}{k} < V_0, \text{ yang berarti } K > 1 \quad (2.7)$$

Faktor  $K$  inilah yang disebut sebagai ketetapan dielektrik.

Jika dua pelat sejajar yang masing-masing diberi muatan positif dan negatif, maka medan listrik terbesar ada diantara kedua pelat. Sementara itu untuk pembangkitan medan listrik dapat dilakukan dengan cara memberi beda potensial di antara kedua pelat. Semakin tinggi beda potensial antara dua pelat, maka akan semakin tinggi kuat medan listriknya dan semakin jauh jarak antara kedua pelat akan semakin rendah kuat medan listriknya.

Permitivitas adalah suatu kuantitas fisik yang menggambarkan bagaimana medan listrik mempengaruhi dan dipengaruhi oleh suatu medium dielektrik, dan nilainya ditentukan oleh kemampuan bahan dari medium untuk terpolarisasi sebagai respons dari medan tersebut, yang pada akhirnya juga mengurangi medan listrik dalam bahan. Jadi, permitivitas berkaitan dengan kemampuan suatu material untuk menyampaikan atau memperbolehkan medan listrik. Permitivitas atau sifat dielektrik digambarkan sebagai suatu permitivitas relatif kompleks yang merupakan nilai pembagi antara permitivitas absolut dengan permitivitas ruang hampa ( $\epsilon_0 = 8,854 \times 10^{-12} \text{ F/m}$ ).

Jika pada kapasitor tidak terjadi adanya sebuah perpindahan muatan, maka hal tersebut bisa disebabkan adanya perubahan harga kapasitansi dari beda potensial dimana:

$$\epsilon = \frac{Q_0}{V} = \frac{Q_0}{V_0/K} = K \frac{Q_0}{V_0} \quad (2.8)$$

Atau

$$\epsilon = K \epsilon_0 \quad (2.9)$$

Yang merupakan permivitas dari bahan dielektrik.

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

$$\epsilon = K \frac{\epsilon_0 A}{d} \quad (2.10)$$

Persamaan ini juga dapat ditulis:

$$\epsilon = \epsilon \frac{A}{d} \quad (2.11)$$

Pada persamaan diatas (2.11) 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  $\epsilon_0$  diberikan oleh  $\epsilon_0 = Q/V_0$  dan kapasitansi  $\epsilon$  dengan adanya bahan dielektrik adalah  $\epsilon = Q/V$ . Muatan  $Q$  adalah sama dengan kedua kasus, dan  $V$  lebih kecil dari pada  $V_0$ , sehingga kita menyimpulkan bahwa kapasitansi  $\epsilon$  dengan adanya dielektrik adalah lebih besar dari pada  $\epsilon_0$ . Bila ruang di antara plat-plat diisi sepenuhnya oleh dielektrik, maka rasio  $\epsilon$  terhadap  $\epsilon_0$  (yang sama dengan rasio  $V_0$  terhadap  $V$ ) disebut konstanta dielektrik material itu,  $K$ :

$$K = \frac{\epsilon}{\epsilon_0} \quad (2.12)$$

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 (Roodenburg, Bart 2011).

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

Mekanisme yang sesungguhnya dari perpindahan muatan ini berbeda pada setiap bahan dielektrik. Beberapa jenis molekul yang disebut molekul berkutub (molekul polar) mempunyai pergeseran yang permanen antara pusat muatan positif dan pusat muatan negatif dan tiap pasang muatan berlaku sebagai dipol. Biasanya dipol ini terorientasi random dalam bahan dielektrik dan suatu medan eksternal yang bekerja padanya akan mengarahkan molekul-molekul tersebut pada suatu arah tertentu. Medan yang cukup kuat dapat menimbulkan pergeseran tambahan antara muatan positif dan negatif. Molekul tak berkutub (molekul *nonpolar*) tidak mempunyai susunan dipol sebelum medan eksternal dikerjakan padanya. Muatan positif dan negatif bergeser dalam arah yang berlawanan menentang gaya tarik-menariknya sehingga menimbulkan dipol yang mempunyai arah yang sama dengan medan listriknya (Halliday, 1991).

## 2.2 Polarisasi Elektronik

Polarisasi elektronik dapat terjadi pada semua jenis dielektrik. Polarisasi ini terjadi karena pergeseran awan elektron pada atom atau molekul akibat adanya medan listrik, pusat muatan listrik positif dan negatif yang semula berimpit menjadi terpisah sehingga terbentuk dipol. Pemisahan titik pusat dipol ini tergantung sampai terjadi keseimbangan dengan medan listrik yang menyebabkannya. Dipol semacam ini terbentuk secara tidak permanen, artinya selama ada pengaruh dari medan listrik maka terbentuk dipol. Akan tetapi apabila medan listriknya hilang, maka titik-titik pusat muatan kembali berimpit lagi. Sedangkan apabila medan yang diberikan adalah medan searah, dipol yang terbentuk hampir seketika dengan hadirnya medan listrik (Lasmawati, 2014). Peristiwa tersebut sesuai dengan penjelasan teori atom Bohr bahwa struktur atom pusatnya terdiri dari proton bermuatan positif dan neutron yang netral dan di luarnya terdapat elektron yang bermuatan negatif dan bergerak memutar inti pada lintasannya. Material tersusun atas atom-atom yang saling berikatan satu sama lain.

Dipol terbentuk hampir seketika dengan hadirnya medan listrik, jika medan yang diberikan adalah medan searah atau DC. Oleh karena itu jika diberi medan listrik bolak-balik atau AC polarisasi elektronik bisa terjadi pada frekuensi tinggi. Polarisasi elektronik dapat didekati dengan menganggap atom berbentuk bola, sehingga muatannya terdistribusi secara *uniform* dalam volume bola yang radiusnya  $R$ . Momen dipol induksi  $\mu_{in}$  dalam atom akibat adanya medan listrik  $E$  ditunjukkan oleh persamaan (Raju G. G., 2003):

$$\mu_{in} = (4\pi\epsilon_0 R^3)E. \quad (2.13)$$

Besaran yang ada di dalam tanda kurung adalah konstan bilamana tinjauannya atom. Oleh karena itu momen dipol induksi adalah sebanding dengan kuat medan listrik luar. Ketika medan listrik dihilangkan, maka momen dipolnya nol yang artinya muatan akan kembali ke posisi semula.

Bahan dielektrik ada dua jenis, yakni polar dan *nonpolar*. Molekul dielektrik polar berarti bahwa molekul dielektrik tersebut ketika dalam keadaan tanpa medan listrik, antara elektron dan intinya telah membentuk dipol. Sedangkan molekul *nonpolar* ketika tidak ada medan listrik antara elektron dan inti tidak tampak sebagai dua muatan terpisah. Dielektrik molekul polar maupun *nonpolar* bila diletakkan dalam medan listrik akan mengalami polarisasi. Pada permukaan dielektrik yang terpolarisasi terdapat muatan-muatan negatif disatu bagian dan muatan positif di bagian lainnya pada permukaan tersebut. Muatan-muatan ini bukan muatan bebas, tetapi masing-masing terikat pada molekul yang terletak didekat permukaan, dan selebihnya dielektrik bermuatan total nol (Sehah, 2009).

Jika tidak ada dielektrik, maka dengan hukum Gauss akan diperoleh:

$$\epsilon_0 \int \vec{E} \cdot d\vec{S} = \epsilon_0 E_0 A = q \quad (2.14)$$

atau:

$$E_0 = \frac{q}{\epsilon_0 A} \quad (2.15)$$

Jika ada dielektrik, maka dengan hukum Gauss diperoleh:

$$\epsilon_0 \int \vec{E} \cdot d\vec{S} = \epsilon_0 EA = q - q'$$

atau:

$$E = \frac{q}{\epsilon_0 A} - \frac{q'}{\epsilon_0 A'} \quad (2.16)$$

Dimana  $q'$  adalah muatan permukaan imbas, jadi harus dibedakan sebagai muatan bebas pada plat dielektriknya. Kedua muatan ini terletak pada permukaan Gauss. Selisih muatan ini ( $q-q'$ ) adalah muatan *netto* di dalam permukaan Gauss, dimana  $A=A'$ .

Pada persamaan sebelumnya, dituliskan:

$$\epsilon_0 = \frac{E_0}{E} \text{ atau } E = \frac{E_0}{\epsilon_r}$$

Dengan memasukkan nilai  $E_0$  pada persamaan (2.15) ke persamaan ini, maka diperoleh:

$$E_0 = \frac{q}{\epsilon_r \epsilon_0 A} \quad (2.17)$$

Dengan rumus baru ini maka persamaan (2.16) dapat dituliskan menjadi:

$$\frac{q}{\epsilon_r \epsilon_0 A} = \frac{q}{\epsilon_0 A} - \frac{q'}{\epsilon_0 A'} \quad (2.18a)$$

atau:

$$q' = q \left(1 - \frac{1}{\epsilon_r}\right) \quad (2.18b)$$

Sehingga persamaannya dapat dituliskan menjadi:

$$\frac{q}{A} = \epsilon_0 \left( \frac{q}{\epsilon_r \epsilon_0 A} \right) - \frac{q'}{A} \quad (2.18)$$

Suku pertama merupakan kuantitas pergeseran listrik  $D$  atau,

$$D = \frac{q}{A} \quad (2.19)$$

Kuantitas yang terdapat didalam kurung merupakan medan listrik di dalam dielektrik  $E$  dan suku terakhir adalah muatan imbas permukaan per satuan luas.

Kuantitas ini dinamakan sebagai polarisasi listrik  $P$  atau:

$$P = \frac{q}{A} \quad (2.20)$$

Jika demikian persamaan (2.18) dapat dituliskan dalam bentuk:

$$D = \varepsilon_0 E + P \quad (2.21)$$

atau dalam bentuk vektor dituliskan menjadi:

$$\vec{D} = \varepsilon_0 \vec{E} + \vec{P} \quad (2.22)$$

Dengan membandingkan persamaan (2.17) dan (2.19) maka dapat dituliskan vektor pergeseran listrik sebagai fungsi dari medan listrik:

$$\vec{P} = \varepsilon_r \varepsilon_0 \vec{E} \quad (2.23)$$

Dengan mensubstitusikan persamaan (2.23) ke persamaan (2.22) maka dapat dituliskan pula pernyataan vektor polarisasi sebagai fungsi dari medan listrik yaitu:

$$\vec{P} = \varepsilon_r (\varepsilon_0 - 1) \vec{E} \quad (2.24)$$

Sebelumnya telah dituliskan hukum Gauss dengan adanya bahan dielektrik yaitu:

$$\varepsilon_0 \int \vec{E} \cdot d\vec{S} = q - q'$$

Dengan mensubstitusikan  $q'$  dari persamaan (2.18b) ke persamaan diatas maka:

$$\varepsilon_r \varepsilon_0 \int \vec{E} \cdot d\vec{S} = q$$

Atau dapat dituliskan menjadi:

$$\int \vec{D} \cdot d\vec{S} = q \quad (2.25)$$

### 2.3 Potensial Transmembran pada Bakteri

Sel memiliki membran plasma yang memisahkan kompartemen intra dan ekstra seluler. Bagian luar dan bagian dalam sel terdapat potensial yang sering disebut potensial transmembran. Akibat adanya potensial transmembran, maka tidak semua molekul diluar sel dapat masuk ke dalam sel. Bilamana jari-jari luar membran plasma adalah  $a$  dan jari-jari dalamnya  $b$ , dengan paparan medan listrik luar, maka tegangan transmembran akan berubah. Besar tegangan transmembran akibat paparan medan listrik DC, oleh Maxwell dirumuskan (Valic B., dkk, 2003):

$$\Delta\phi_{\text{memb}} = 1,5\alpha E_{\text{app}} \cos\theta, \quad (2.26)$$

$E_{\text{app}}$  adalah kuat medan yang dikenakan pada sel dalam volt per sentimeter,  $\theta$  adalah sudut antara arah medan dengan arah sel.

Bila medan AC yang digunakan, maka akan menjadi lebih kompleks, dimana induksi potensial transmembran menjadi tergantung pada frekuensi. Medan listrik dengan frekuensi mendekati waktu relaksasi membran menurut Schwan secara teori dirumuskan dengan (Valic B. dkk, 2003):

$$\Delta\phi_{\text{memb}} = 1,5 \alpha E_{\text{app}} \cos \theta / (1 + (\omega\tau)^2)^{1/2}, \quad (2.27)$$

dimana

$$\tau = \alpha C_{\text{memb}} (p_{\text{in}} + p_{\text{ext}}/2). \quad (2.28)$$

Sedangkan  $\omega = 2\pi f$  dan  $f$  adalah frekuensi medan listrik yang diterapkan,  $C_{\text{memb}}$ ,  $p_{\text{int}}$ , dan  $p_{\text{ext}}$  berturut-turut adalah kapasitansi membran, resistivitas internal dan resistivitas eksternal membran. Potensial transmembran maksimal diinduksikan medan listrik bolak balik dalam bentuk  $E_{\text{App}} = E_{\text{App}}^0 \sin \omega t$  dengan  $E_{\text{pp}}^0$  adalah amplitudo medan dan  $t$  adalah waktu, maka (Valic B. dkk, 2003):

$$\Delta\phi_{\max} = 1,5 a E_{App}^0 / (1 + (\omega\tau)^2)^{1/2}. \quad (2.29)$$

Rumusan ini digunakan pada medan listrik bolak-balik, dimana jika  $\omega \ll \tau$ , maka identik dengan dipapar menggunakan medan DC. Bilamana medan listrik AC diganti dengan medan listrik berpulsa akan menyebabkan terjadinya elektroporasi dan tegangan transmembrannya memenuhi persamaan (Teissie J. dkk, 2008):

$$\Delta\phi = 1,5\alpha E \cos \theta (1 - \exp(-t/\tau)). \quad (2.30)$$

$$\tau = \alpha C (r_i + r_e / 2). \quad (2.31)$$

Dimana  $E$  adalah kuat medan listrik,  $a$  radius sel,  $\tau$  waktu atom terpolarisasi penuh atau waktu relaksasi,  $t$  durasi pulsa,  $C$  kapasitansi membran dan  $r_i$  dan  $r_e$  berturut-turut adalah resistansi intra dan ekstra seluler.

#### 2.4 Efek Medan Listrik Terhadap Kematian Bakteri

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 pori membran dan berubah menjadi *hydrophilic pore* dimana difusi bebas dapat terjadi (Bueche, 2006).

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

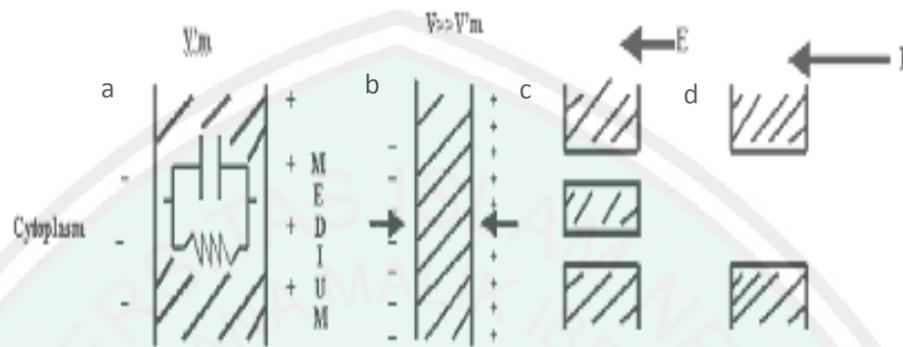
positif menjadi terpisah dan terbentuk dipol. Pergeseran muatan ini membuat potensial transmembran meningkat dan disisi yang lain menurun. Ketika penipisan membran terjadi terlalu kuat, sedangkan membran bersifat homogen padat, maka akan menyebabkan terjadinya ruptur membran yang *irreversible* (Bueche, 2006).

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 dapat diterima secara luas yaitu teori 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) (Fang, 2006).

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

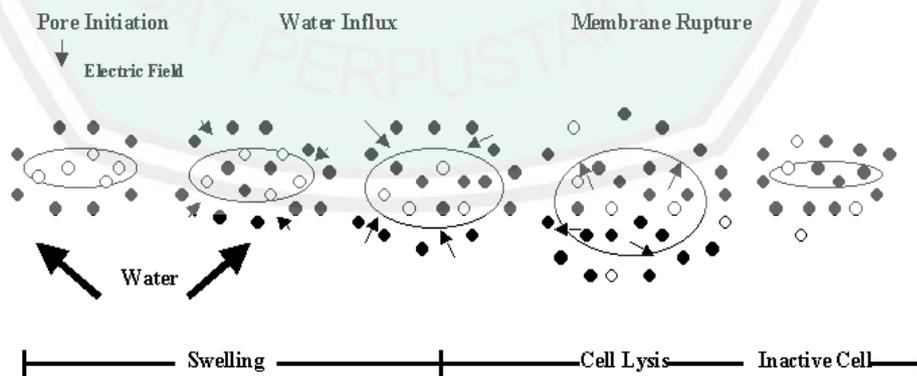
potensial transmembran meningkat maka dapat mengakibatkan kebocoran pada membran *lipid bilayer*. Berikut ini merupakan diagram dari perusakan membran sel beserta gambar dari elektroporasi membran sel (Apriliawan, 2012).



Gambar 2.3 Diagram perusakan membran sel (Apriliawan, 2012)

Keterangan:

- Membran sel dengan tegangan listrik
- Kompresi membran sel
- Pembentukan pori-pori
- Pembentukan pori-pori yang lebih besar



Gambar 2.4 Elektroporasi membran sel (Apriliawan, 2012)

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 dan setelah itu 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. Peningkatan 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).

Energi per pulsa ( $W'$ ) dihitung oleh persamaan berikut (Puertolas dkk, 2009):

$$W' = \frac{1}{\rho} \int_0^{\infty} I(t) V(t) dt \quad (2.32)$$

Dimana  $I$  adalah intensitas arus (A),  $V$  adalah tegangan (V), dan  $t$  adalah waktu (s). Total energi spesifik diterapkan ( $W$ ) dihitung dengan mengalikan energi per pulsa ( $W'$ ) dengan jumlah pulsa.

Puertolas dkk (2009) menggunakan model matematika berdasarkan distribusi Weibull yang digunakan untuk menjelaskan penyesuaian kelangsungan hidup dari mikroba yang berbeda yaitu:

$$\log_{10} \frac{N_t}{N_0} = -\left(\frac{W}{\delta}\right)^{\rho} \quad (2.33)$$

Dimana  $N_t$  merupakan jumlah mikroba yang bertahan dari perlakuan,  $N_0$  merupakan populasi jumlah awal mikroba.  $W$  adalah energi spesifik dengan nilai  $W = \tau \varepsilon^2 t$ , dan nilai  $\delta$  dan  $\rho$  adalah skala parameternya. Nilai  $\delta$  mewakili energi

spesifik yang diperlukan untuk menonaktifkan siklus pertama  $\log_{10}$  dari populasi mikroba. Sedangkan nilai  $\rho$  adalah pangkat dari kelangsungan hidup mikroba dimana ( $\rho < 1$ ), jika mikroba bertahan hidup maka ( $\rho = 1$ ) dan jika mikroba mengalami penurunan maka ( $\rho > 1$ ).

$$X = a - (be^{-c(E-d)}) \quad (2.34)$$

Dimana X adalah nilai  $\delta$  atau  $\rho$ , E adalah kekuatan medan litrik. Sedangkan b, c, dan d adalah parameter model, sehingga:

$$\log_{10} \frac{N_t}{N_0} = -\left(\frac{w}{a_\delta - (b_\delta e^{-c_\delta(B-d_\delta)})}\right)^{a_\rho - (b_\rho e^{-c_\rho(E-d_\rho)})} \quad (2.35)$$

Dimana  $N_t$  adalah jumlah mikroorganisme yang bertahan.  $N_0$  adalah jumlah awal populasi mikroba. W adalah energi khusus.  $a_\delta$   $b_\delta$   $c_\delta$   $d_\delta$  koefisien  $E_Q$  untuk parameter  $\delta$ . Sedangkan  $a_\rho$ ,  $b_\rho$ ,  $c_\rho$  dan  $d_\rho$  adalah koefisien  $E_Q$  untuk parameter  $\rho$ .

## 2.5 Bakteri *Salmonella Typhi*

*Salmonella* termasuk dalam family *Enterobacteriaceae* yang kemudian dikelompokkan menjadi *Salmonella typhi* dan *Salmonella paratyphi*. *Salmonella* tergolong bakteri berbentuk basil, mesofilik, anaerob fakultatif, motil dan tidak membentuk spora. Pertumbuhan bakteri terjadi antara suhu 4° - 47°C (optimal pada suhu 37°C) dengan pH minimum 4. Bakteri ini bersifat parasit dan patogenik bagi banyak hewan dan manusia (Brooks, 2005). *Salmonella* dapat tumbuh pada aktivitas air yang rendah ( $a_w \leq 0,93$ ) yang responnya tergantung strain dan jenis pangan. *Salmonella* tumbuh aktif pada kisaran pH 3,6-9,5 dan optimum pada pH yang mendekati normal.

Taksonomi dari *Salmonella sp.* adalah sebagai berikut:

Kingdom	: Bacteria
Phylum	: Proteobacteria
Class	: Gamma Proteobacteria
Ordo	: Enterobacteriales
Family	: Enterobacteriaceae
Genus	: <i>Salmonella</i>
Spesies	: <i>Salmonella bongori</i> , <i>Salmonella enterica</i>

Tiga serotipe utama dari jenis *Salmonella enterica* adalah *Salmonella typhi*, *Salmonella enteritidis*. *Salmonella typhi* merupakan bakteri penyebab salmonellosis yang merupakan salah satu penyakit edemis dan menimbulkan kerugian yang serius terutama di negara berkembang termasuk Indonesia. Bakteri salmonella ditularkan melalui makanan dan minuman yang terkontaminasi kotoran atau tinja dari seorang penderita tifoid. Bakteri masuk melalui mulut bersama makanan dan minuman, kemudian berlanjut ke saluran pencernaan. Jika bakteri yang masuk dengan jumlah yang banyak maka bakteri akan masuk ke dalam usus halus selanjutnya masuk ke dalam sistem peredaran darah sehingga menyebabkan bakterimia, demam tifoid, dan komplikasi dari organ lain (Wagner dkk, 2014). 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.

*Salmonella* merupakan bakteri Gram negatif berbentuk batang bergerak yang memfermentasikan glukosa dan manosa tanpa membentuk gas tetapi tidak

memfermentasikan laktosa dan sukrosa (Jawetz dkk., 2005). Isolat salmonella pada media SSA pada suhu 37°C maka koloni akan tampak cembung, transparan, bercak hitam dibagian pusat. Bakteri salmonella akan mati pada suhu 60°C selama 15 – 20 menit melalui pasteurisasi, pendidihan dan klorinasi.

## 2.6 Susu Sapi

Susu merupakan bahan makanan yang istimewa bagi manusia karena komposisinya yang ideal. Selain susu mengandung semua zat yang dibutuhkan oleh tubuh, semua zat makanan yang terkandung di dalam susu dapat diserap oleh darah dan dimanfaatkan oleh tubuh. Susu dapat dikonsumsi oleh semua kalangan masyarakat.

Susu yang populer dan banyak dikonsumsi adalah susu sapi karena populasi sapi perah relatif tinggi dan setiap individu sapi dapat menghasilkan susu 7-20 liter/hari. Susu dapat pula diperoleh dari ternak kambing, domba dan kerbau. Namun, susu selain dari ternak sapi belum banyak dikenal. Hal ini disebabkan terbatasnya populasi ternak yang dapat diperah dan produksi susunya hanya sekitar ½ - 1 liter/individu. Susu sapi yang masih segar (mentah) pada umumnya terdiri dari sebagian besar air (87,6%), protein (3,3%), lemak (3,8%) laktosa (4,7%) dan abu (0,7%) (Priesley, 1979).

Susu murni merupakan cairan yang berasal dari ambing sapi sehat dan bersih yang diperoleh dengan cara pemerahan yang benar, yang kandungan alaminya tidak dikurangi atau ditambah sesuatu apapun dan belum mendapat perlakuan apapun. Susu sebagian besar digunakan sebagai bahan

makanan yang baik dan bernilai gizi tinggi. Bahan makanan ini mudah dicerna dan mengandung zat-zat makanan yang sangat diperlukan oleh manusia seperti protein, karbohidrat, lemak, mineral, dan air. Dilihat dari segi gizi yang terdapat pada kandungannya, susu merupakan bahan makanan yang hampir sempurna dan merupakan makanan alamiah bagi binatang menyusui yang baru lahir, dimana susu merupakan satu-satunya sumber makanan pemberi kehidupan segera sesudah kelahiran.

Tabel 2.2 Perbandingan Komposisi Susu Segar dan Susu Pasteurisasi (Muchtadi dan Sugiyono, 1992).

<b>Komposisi</b>	<b>Susu Segar (%)</b>	<b>Susu Pasteurisasi (%)</b>
Air	87.25	87.31 – 88.61
Protein	3.50	2.73 – 2.90
Lemak	3.80	3.00 – 3.40
Laktosa	4.80	4.80 – 4.91
Mineral	0.65	0.61 – 0.18

Komposisi susu secara umum :

#### 1. Protein

Protein susu terdiri atas kasein, laktalbumin, dan laktoglobulin. Kasein merupakan protein yang terbanyak jumlahnya daripada laktalbumin dan laktoglobulin.

#### 2. Lemak

Lemak merupakan komponen susu yang penting seperti halnya protein. Lemak dapat memberikan energi lebih besar dibandingkan dengan protein maupun karbohidrat. Satu gram lemak dapat memberikan  $\pm 9$  Kalori. Lemak susu terdapat sebagai globula atau emulsi.

### 3. Hidrat Arang

Dalam susu hidrat arang paling banyak terdapat dalam bentuk gula disakarida, yaitu laktosa. Gula susu mempunyai kemanisan seperenam kemanisan gula tebu (sukrosa).

### 4. Garam-garam Mineral

Susu mengandung berbagai macam mineral, seperti garam kalsium, kalium, dan pospat.

### 5. Vitamin

Susu mengandung vitamin-vitamin yang larut dalam lemak, yaitu vitamin A, D, E serta sedikit vitamin K. Susu juga mengandung berbagai vitamin yang larut dalam air yaitu vitamin B kompleks.

### 6. Air

Komponen terbanyak susu adalah air, jumlahnya mencapai 64,89 %.

### 7. Enzim

Enzim adalah katalisator biologi yang dapat mempercepat reaksi kimiawi. Susu mengandung beberapa enzim, antara lain lipase, pesterase, peroksidase, katalase, dehidrogenase, dan laktase.

Ambing yang sehat akan menghasilkan susu yang steril (tidak terkontaminasi mikroba) sampai di sterna ambing. Mikroba baru mulai dijumpai ketika susu sudah berada di saluran puting. Dari ambing yang sehat, dapat ditemukan sampai 500 organisme/ml susu. Oleh karena itu, untuk mengurangi kandungan mikroba dalam susu, susu yang diperoleh dari 3-4 kali pemerahan

pertama harus dibuang. Hal ini dikarenakan susu yang keluar dari pemerahan pertama mengandung 50.000 sel/ml susu.

Bakteri yang sering terdapat dalam susu sapi murni meliputi *Micrococcus*, *Pseudomonas*, *Staphylococcus*, *Bacillus* serta *E. coli* (Vollk dan Wheeler, 1993). Menurut Benson (2002), jumlah bakteri dalam air susu dapat digunakan sebagai indikator terhadap kualitas susu. Selain itu, jenis bakteri seperti *E. coli*, *Enterobacteriaceae* serta *Streptobacillus* telah lama dirumuskan sebagai mikroorganisme indikator mutu.

Kualitas atau mutu susu merupakan bagian penting dalam produksi dan perdagangan susu. Derajat mutu susu hanya dapat dipertahankan selama waktu tertentu, yang selanjutnya akan mengalami penurunan dan berakhir dengan kerusakan susu. Susu merupakan makanan pelengkap dalam diet manusia sehari-hari dan merupakan makanan utama bagi bayi. Ditinjau dari komposisi kimianya, susu merupakan minuman bergizi tinggi karena mengandung hampir semua jenis zat gizi yang diperlukan tubuh manusia sehingga baik untuk dikonsumsi (Wahyudi, 2006).

## 2.7 Uji Alkohol dan Keasaman pada Susu

Uji alkohol merupakan uji cepat untuk mengetahui keadaan kesegaran pada susu. Keadaan susu diperiksa kesegarannya apakah susu dalam keadaan baik atau sudah rusak. Menurut Buckle dkk (1987) uji alkohol bertujuan untuk memeriksa dengan tepat tingkat dari keasaman susu. Susu yang mengandung keasaman 0.21% akan terkoagulasi dengan penambahan alkohol 70%. Dengan

demikian apabila alkohol menunjukkan hasil positif dimana susu terkoagulasi dengan penambahan alkohol 70% maka susu dalam keadaan tidak baik.

Uji alkohol dapat diamati berdasarkan gumpalan atau butiran kecil pada dinding tabung. Uji alkohol positif ditandai dengan adanya butiran susu yang melekat pada dinding tabung reaksi, sedangkan tidak terdapatnya butiran menandakan uji alkohol negatif. Keadaan ini dipengaruhi oleh kestabilan koloidal protein susu yang tergantung pada selubung atau mantel air yang menyelimuti butir-butir protein terutama kasein (Siirtola, 2000). Apabila susu dicampur dengan alkohol yang memiliki daya dehidrasi, maka protein terkoagulasi. Semakin tinggi keasaman susu maka semakin berkurang jumlah alkohol yang dibutuhkan untuk memecahkan susu yang sama banyaknya (Sumuditha, 1986).

## **BAB III**

### **METODE PENELITIAN**

#### **3.1 Jenis Penelitian**

Jenis penelitian ini yaitu penelitian eksperimental yang bertujuan untuk memperoleh data pengamatan tentang pengaruh medan listrik serta waktu pemaparan terhadap pertumbuhan bakteri *Salmonella typhi* pada susu. Penelitian ini dilakukan dengan upaya sanitasi bahan pangan yang diharapkan mampu meningkatkan ketahanan pangan, dan penghematan energi listrik nasional.

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

Penelitian akan dilaksanakan pada bulan Februari-Mei 2018. Tempat penelitian dilakukan di Laboratorium Termodinamika dan Laboratorium Riset Material jurusan Fisika, Laboratorium Biokimia jurusan Kimia Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang serta Laboratorium Sentral FMIPA Universitas Negeri Malang.

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

##### **3.3.1 Alat**

1. Set medan listrik
2. Kateter
3. Mikropipet 1 buah
4. Cawan petri 27 buah,

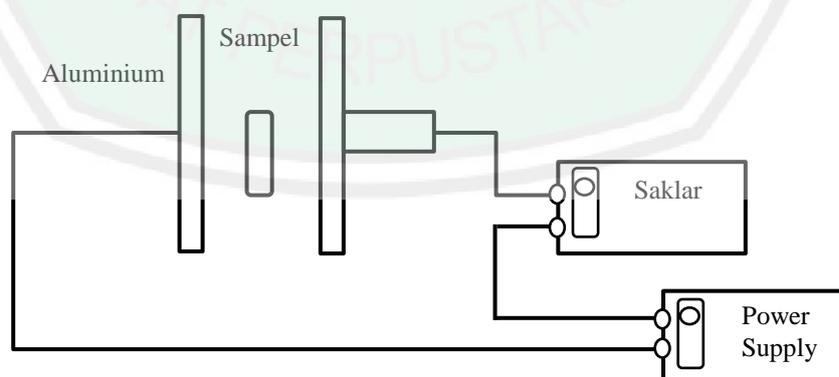
5. Jarum ose 1 buah
6. Erlenmeyer 250 ml 2 buah
7. Tabung reaksi 4 buah
8. LAF (*Laminar Air Flow*) 1 unit
9. Vortex
10. Bunsen 1 buah
11. Kapas 1 pack
12. Tissue 1 pack
13. Timbangan analitik 1 buah
14. *Hot plate*
15. Stirrer
16. Inkubator 1 buah
17. Plastik wrap 1 buah
18. Aluminium Foil 1 buah
19. Spertus
20. Korek api
21. Gelas ukur 50 ml 1 buah
22. Blue tip 100 buah
23. Botol flakon 60 buah
24. Pinset 1 buah
25. Beaker glass 2 buah
26. Botol semprot 1 buah
27. *Colony counterr*

28. Spatula
29. Autoklaf 1 buah

### 3.3.2 Bahan

1. Bakteri *Salmonella typhi*
2. Aquades
3. NaCl
4. Alkohol
5. NA (*Nutrient Agar*) media padat
6. NB (*Nutrient Broth*) media cair
7. PCA (*Plate Count Agar*)
8. Plastik ukuran 2 kg
9. Karet gelang
10. Susu Sapi murni

### 3.4 Desain Rangkaian Alat

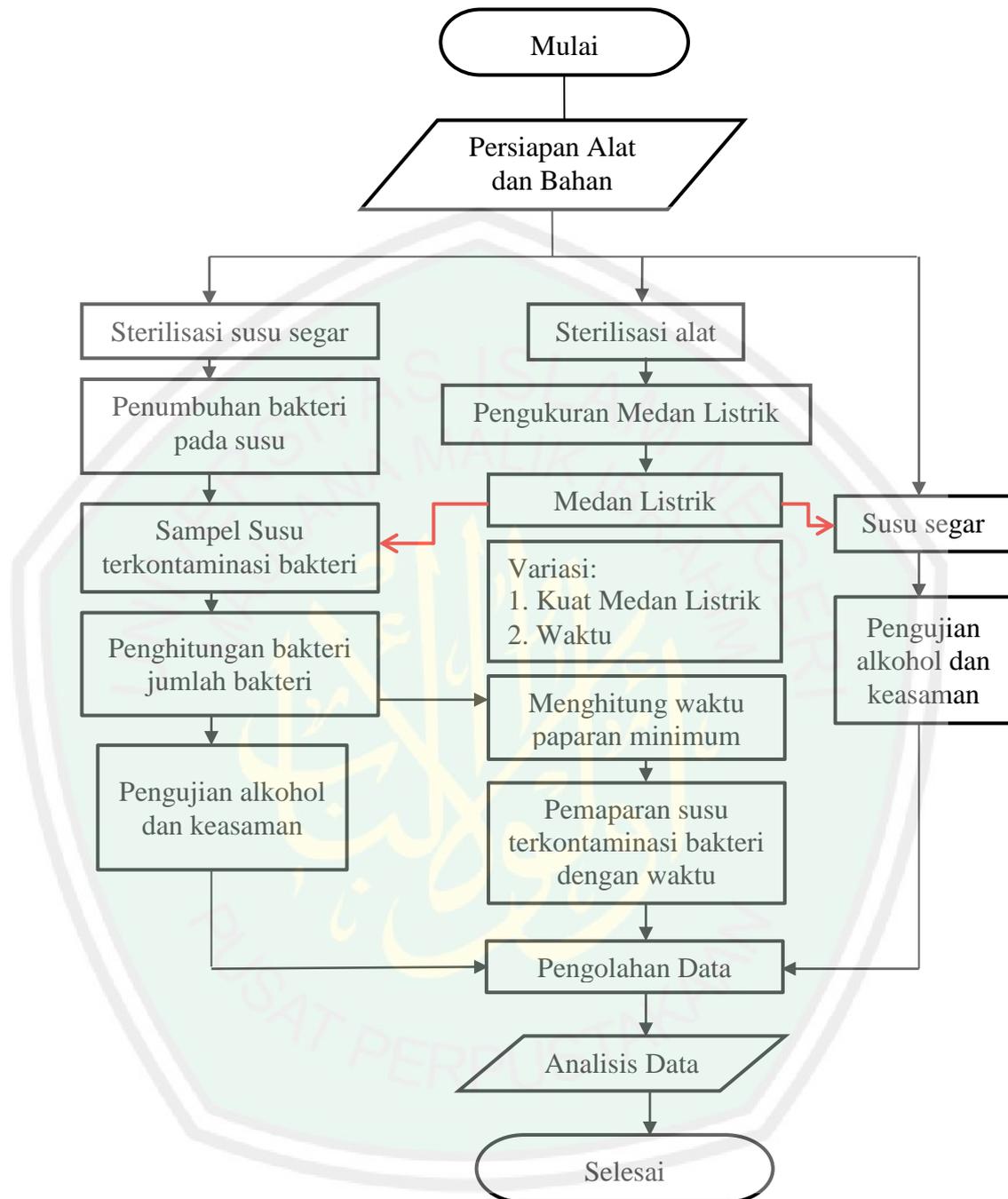


Gambar 3.1 Rangkaian Alat Perlakuan Bakteri *Salmonella typhi*

### 3.5 Rancangan Penelitian

Penelitian ini adalah penelitian eksperimen laboratorik yang menggunakan pendekatan *Post Test Control Group Design*. Sampel penelitian adalah bakteri *Salmonella typhi* penentuan bakteri dilakukan dengan mempertimbangkan bahwa bakteri tersebut banyak tumbuh pada susu.

Penonaktifan bakteri *Salmonella typhi* dilakukan dengan menggunakan medan listrik berpulsa. Medan listrik berpulsa dihasilkan dari Power Supply tegangan tinggi dan disambungkan ke saklar dan berikutnya disambungkan pada plat sejajar. Paparan medan listrik berpulsa pada bakteri dilakukan dengan variasi kuat medan listrik dan lama paparan. Variabel yang diukur pada penelitian ini adalah jumlah bakteri yang masih aktif dan kerusakan membran. Pengukuran jumlah bakteri yang masih aktif kemudian dihitung dengan *colony counter*. Mekanisme pelaksanaan penelitian lebih lengkap dapat terlihat pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2 Alur Rancangan Penelitian

### 3.6 Prosedur Penelitian

#### 3.6.1 Sterilisasi

Sterilisasi alat dilakukan sebelum semua peralatan digunakan, yaitu dengan cara membungkus semua peralatan dengan menggunakan kertas 40 alumunium foil kemudian dimasukkan ke dalam autoklaf pada suhu 121 °C dengan tekanan 15 psi (per square inci) selama 15 menit. Untuk alat yang tidak tahan panas tinggi disterilisasi dengan zat kimia berupa alkohol 70 %.

#### 3.6.2 Pembuatan Media NA (*Nutrien Agar*)

1. Media NA ditimbang sebanyak 5 gram.
2. Media NA yang sudah ditimbang kemudian ditambahkan aquades sebanyak 250 ml dan dipanaskan di atas *hot plate* sampai homogen.
3. Media NA yang sudah homogen dimasukkan ke dalam tabung reaksi sebanyak 5 ml dan sisanya dimasukkan ke dalam tabung *erlenmeyer* kemudian ditutup dengan kapas.
4. Media NA disterilisasi dalam autoklaf.
5. Media NA dimasukkan ke dalam tabung reaksi kemudian dimiringkan.

#### 3.6.3 Pembuatan Media NB (*Nutrien Broth*)

1. Media NB ditimbang sebanyak 2,5 gram.
2. Media NB yang sudah ditimbang kemudian ditambahkan aquades sebanyak 150 ml kemudian dipanaskan di atas *hot plate* sampai homogen.

3. Media NB dimasukkan ke dalam botol sebanyak 50 ml dan ditutup dengan kapas kemudian disterilisasi dalam autoklaf.

#### **3.6.4 Pembuatan Media PCA (*Plate Count Agar*)**

1. Media PCA ditimbang sebanyak 3 gram.
2. Media PCA yang sudah ditimbang kemudian ditambahkan aquades sebanyak 150 ml ke dalam *erlenmeyer* dan dipanaskan di atas *hot plate* sampai homogen.
3. Media PCA disterilisasi dalam autoklaf.

#### **3.6.5 Penumbuhan Bakteri**

Langkah untuk menumbuhkan bakteri *Salmonella typhi* antara lain:

1. Diambil 1 ose biakan murni bakteri *Salmonella typhi* secara aseptik dengan jarum dan digoreskan secara zigzag ke dalam media NA miring dalam tabung reaksi.
2. Biakan tersebut diinkubasi dalam inkubator pada suhu 37 °C selama 24 jam.
3. Langkah kedua diulangi terus sampai diperoleh biakan murni.

#### **3.6.6 Penumbuhan Bakteri pada Susu**

Langkah-langkah untuk membuat biofilm dari bakteri *Salmonella typhi* antara lain:

1. Dicuci dan disterilkan tabung tempat penumbuhan bakteri pada susu.
2. Diisi tabung dengan susu sebanyak 10 ml.

3. Diambil 1 ose bakteri dari media NA dan dimasukkan ke dalam tabung berisi susu.
4. Diinkubasi selama 24 jam pada inkubator dengan suhu 37°C.

### 3.6.7 Paparan Medan Listrik

Langkah-langkah dalam pemberian perlakuan medan listrik antara lain:

1. Susu yang terkontaminasi dengan bakteri (tiap-tiap percobaan menggunakan satu jenis bakteri) dipapari dengan medan listrik.
2. Dilakukan penghitungan jumlah bakteri yang masih hidup dan pengujian positif/negatif alkohol pada susu.
3. Mengulangi langkah 1 sampai 2 dengan waktu paparan dan kuat medan yang berbeda (masing-masing waktu paparan dengan kuat medan diulangi 3 kali).
4. Menentukan waktu paparan minimum.
5. Mengulangi langkah 1 sampai 3 dengan waktu paparan selama 5-25 menit.
6. Menghitung penggunaan energi listrik.

### 3.6.8 Penghitungan Koloni Bakteri

Langkah-langkah untuk menghitung bakteri *Salmonella typhi* yang telah nonkatif melalui proses pengenceran antara lain:

1. Cawan petri dan botol flakon yang telah berisi aquades dimasukkan ke dalam autoklaf untuk disterilisasi.

2. Diambil 1 ml suspensi dari botol flakon yang sudah dipapari medan listrik kemudian dimasukkan ke dalam botol flakon steril yang berisi 9 ml aquades.
3. Diambil kembali 1 ml dari kemudian dimasukkan ke dalam botol flakon steril yang berisi 9 ml aquades.
4. Dilakukan seterusnya sampai diperoleh perhitungan yang sesuai.
5. Dilakukan semua proses diatas secara aseptis yaitu didekat api bunsen.
6. Diambilkan 1 ml aquades yang ada bakterinya dan dituang pada cawan petri yang sudah berisi media PCA.
7. Dimasukkan ke dalam incubator dengan posisi terbalik (bagian tutup berada dibawah) setelah media tersebut membeku.
8. Diinkubasi selama 24 jam.
9. Dihitung jumlah koloni yang terbentuk.
10. Selain diukur jumlah bakteri yang masih hidup juga dilakukan pengujian positif/negatif alkohol pada susu dan diberi tanda dengan spidol untuk menghindari penghitungan ulang.

### 3.7 Teknik Pengumpulan Data

Teknik pengumpulan data untuk menentukan pengaruh paparan medan listrik terhadap pertumbuhan bakteri dilakukan dengan cara menghitung jumlah bakteri *Salmonella typhi* yang masih hidup sebelum dan sesudah dipapari medan listrik. Setelah itu dicatat pada table seperti berikut.

Tabel 3.1 Data Hasil Pengamatan Medan Listrik (untuk masing-masing bakteri)

Perlakuan		Jumlah Sel Bakteri (CFU/ml)			Rata-Rata
E (kv/ml)	Waktu (menit)	1	2	3	
0	0				
2,5	5				
	10				
	15				
	20				
	25				
3	5				
	10				
	15				
	20				
	25				
3,5	5				
	10				
	15				
	20				
	25				
4	5				
	10				
	15				
	20				
	25				

Tabel 3.2 Data Hasil Pengamatan Uji alkohol

Lama Penyimpanan (jam)	Uji Alkohol	
	Positif	Negatif
0		
4		
8		
12		

### 3.8 Teknik Analisis data

Analisis deskriptif, dihitung jumlah bakteri *Salmonella typhi* setelah diberi paparan medan listrik dengan variasi waktu. Jumlah bakteri yang hidup dibandingkan dengan jumlah bakteri pada kontrol (tanpa paparan medan listrik). Kemudian data yang diperoleh tersebut akan disajikan dalam bentuk grafik.

Analisis berikutnya dilakukan dengan cara membandingkan grafik yang diperoleh dari persamaan empiris dengan hasil permodelan. Dari grafik permodelan ditentukan waktu paparan minimum pada masing-masing kuat medan listrik. Data hasil waktu paparan minimum berikutnya dilakukan analisis kebutuhan energi listrik pada masing-masing paparan dan diplot dalam bentuk grafik. Dengan demikian dapat diketahui kebutuhan energi listrik untuk menonaktifkan bakteri *Salmonella typhi*.

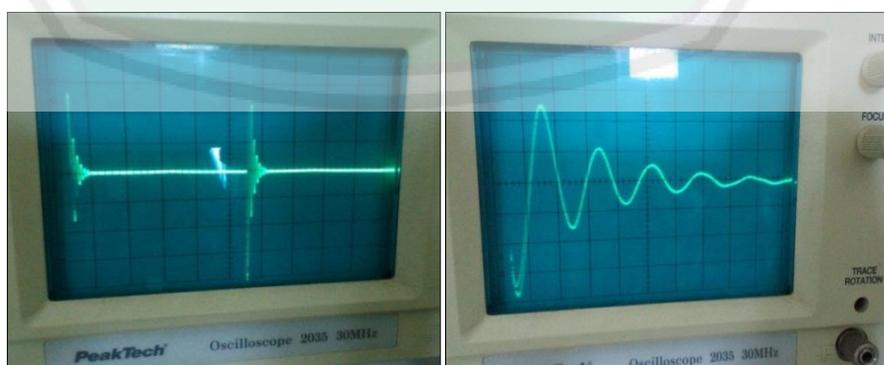
## BAB IV

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Hasil Penelitian

Penelitian tentang medan listrik berpulsa untuk menghambat pertumbuhan bakteri *Salmonella typhi* pada susu sapi murni dan dilakukan pengujian alkohol pada susu sapi dilaksanakan pada bulan Februari sampai Mei 2018. Penelitian ini bersifat *experimental laboratories* dengan pendekatan *Post Test Control Group Design* yang dilakukan di dalam ruang laboratorium tertutup. Tahap pertama yang dilakukan dalam penelitian ini yaitu meremajakan bakteri *Salmonella typhi* di dalam ruang LAF Laboratorium Kimia Fakultas Sains dan Teknologi UIN Maulana Malik Ibrahim Malang.

Medan listrik yang digunakan berasal dari satu set alat medan listrik berpulsa dengan *power supply* disambungkan ke saklar kemudian dihubungkan pada plat sejajar. Sebelum pengambilan data dimulai, medan listrik disambungkan dengan osiloskop untuk menampilkan bentuk gelombang yang dihasilkan. Bentuk gelombang yang diperoleh seperti gambar 4.1:



Gambar 4.1 Bentuk gelombang set medan listrik berpulsa yang digunakan untuk penelitian.

Susu sapi murni didapatkan dari sapi perah di Batu kemudian dipanaskan secara tertutup dengan teknik UHT pada suhu 100°C selama 15 detik setelah itu susu dipindahkan ke dalam ruang LAF. Susu dicampur dengan starter bakteri *Salmonella typhi* dengan perbandingan 100:1 dalam botol flakon yang telah disterilkan kemudian diinkubasi selama 24 jam pada suhu 37°C untuk menghasilkan susu yang mengandung bakteri *Salmonella typhi*. Setelah itu susu dipapari medan listrik dengan kuat medan listrik sebesar 2,5 kV/cm, 3 kV/cm, 3,5 kV/cm dan 4 kV/cm dengan variasi lama paparan selama 5 menit, 10 menit, 15 menit, 20 menit dan 25 menit pada setiap perlakuan kuat medan listrik berpulsa. Susu yang telah dipapari medan listrik kemudian dihitung jumlah koloni bakterinya menggunakan *colony counter*.

Perhitungan jumlah koloni bakteri *Salmonella typhi* dihitung menggunakan persamaan:

$$\frac{\Sigma \text{koloni}}{\text{ml}} = \Sigma \text{koloni} \times \frac{1}{10^n} \times \text{CFU/ml} \quad \dots (4.1)$$

Dengan n adalah nilai dari pengulangan dalam perlakuan pada saat pengenceran.

Penurunan jumlah koloni bakteri dihitung menggunakan persamaan (Jones, 2006):

$$\text{penurunan jumlah koloni bakteri} = \log \left( \frac{N_t}{N_0} \right) (\log ) \quad \dots (4.2)$$

Dimana  $N_t$  merupakan rata-rata jumlah bakteri setelah dipapari medan listrik berpulsa, dan  $N_0$  merupakan rata-rata jumlah bakteri sebelum dipapari medan listrik berpulsa (kontrol).

#### 4.1.1 Pengaruh Paparan Medan Listrik Berpulsa Terhadap Penurunan Jumlah Koloni Bakteri *Salmonella typhi* pada Susu Sapi

##### 1. Data Hasil Penelitian

Penurunan jumlah koloni bakteri *Salmonella typhi* yang dihitung berdasarkan persamaan 4.2 dapat dilihat pada tabel 4.1.

Tabel 4.1 Data Penurunan Jumlah Koloni Bakteri *Salmonella typhi* Setelah Dipapari Medan Listrik Berpulsa

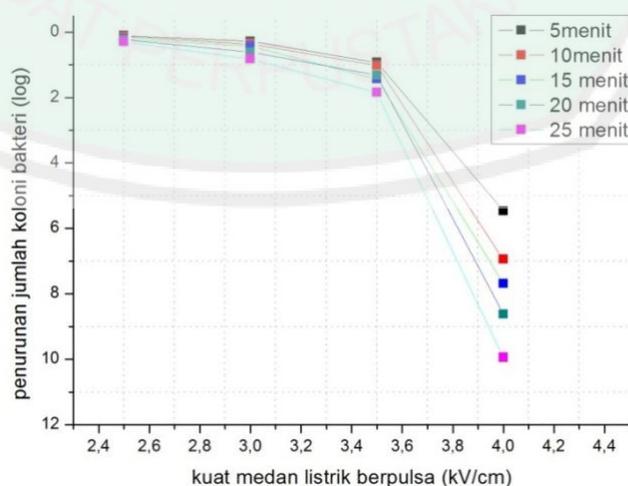
Lama Paparan (menit)	Penurunan Jumlah Koloni Bakteri (Log)				Kontrol ( $\times 10^7$ CFU/ml)
	2,5(kV/cm)	3(kV/cm)	3,5(kV/cm)	4(kV/cm)	
5	0,11	0,28	0,93	5,47	9,95
10	0,14	0,36	1,02	6,95	
15	0,21	0,42	1,44	7,69	
20	0,23	0,61	1,32	8,63	
25	0,29	0,82	1,84	9,95	

Pada tabel 4.1 terlihat bahwa kuat medan listrik berpulsa yang diberikan mempengaruhi pertumbuhan bakteri *Salmonella typhi*. Ketika dipapari medan listrik berpulsa sebesar 2,5 kV/cm dengan lama paparan 5 menit bakteri *Salmonella typhi* yang ada pada susu mengalami penurunan sebesar 0,11 Log. Pada lama paparan 25 menit bakteri mengalami penurunan sebanyak 0,29 Log. Penurunan jumlah koloni bakteri *Salmonella typhi* juga terlihat pada paparan medan listrik berpulsa sebesar 3 kV/cm dengan waktu paparan selama 5 menit sebesar 0,28 Log dan pada waktu paparan 25 menit penurunan jumlah koloni bakteri *Salmonella typhi* menjadi 0,82 Log. Semakin besar kuat medan dan semakin lama waktu paparan yang diberikan dapat menyebabkan penurunan jumlah koloni bakteri *Salmonella typhi*. Tetapi pada kuat medan 3,5 kV/cm dengan lama paparan 15 menit, 20 menit dan 25 menit, jumlah koloni bakteri

mengalami ketidakseimbangan. Jumlah koloni bakteri *Salmonella typhi* yang seharusnya semakin lama waktu pemaparan menjadi semakin meningkat mengalami perubahan menjadi penurunan dari 1,44 Log menjadi 1,32 Log dan kemudian jumlah koloni bakteri meningkat menjadi 1,84 Log. Ketika dipapari medan listrik berpulsa sebesar 4 kV/cm dengan lama paparan 5 menit, jumlah koloni bakteri *Salmonella typhi* mengalami penurunan drastis menjadi 5,47 Log dan pada waktu paparan ditingkatkan menjadi 25 menit penurunan jumlah koloni bakteri *Salmonella typhi* menjadi lebih besar yaitu 9,95 Log. Adapun penyebab dari ketidakseimbangan yang terjadi pada pemaparan sebesar 3,5 kV/cm kemungkinan disebabkan akibat tidak sterilnya tempat pada saat proses pengenceran dan inkubasi dilakukan sehingga pertumbuhan bakteri menjadi tidak seimbang.

## 2. Analisis Data Hasil Penelitian

Pengaruh kuat medan listrik berpulsa terhadap penurunan jumlah koloni bakteri *Salmonella typhi* pada susu sapi dapat ditunjukkan pada gambar 4.2.

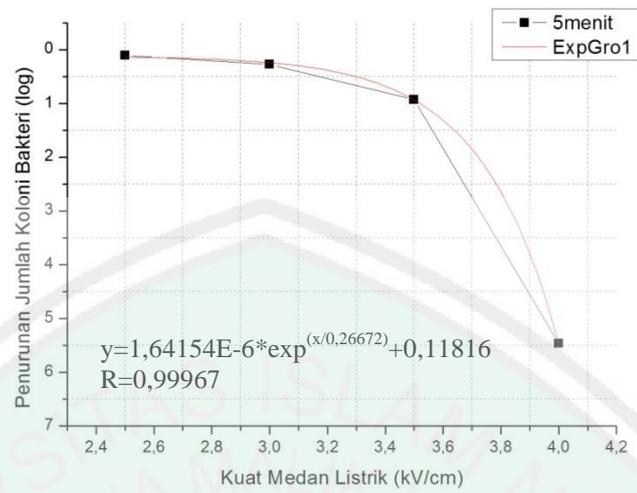


Gambar 4.2 Grafik hubungan variasi kuat medan listrik berpulsa terhadap penurunan jumlah koloni bakteri *Salmonella typhi*

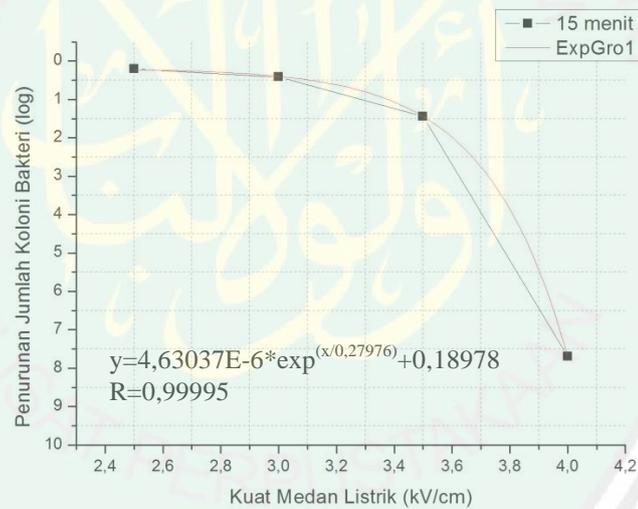
Pada gambar 4.2 diatas menunjukkan penurunan jumlah koloni bakteri *Salmonella typhi* pada medan listrik berpulsa sebesar 2,5 kV/cm dan 3 kV/cm secara berkala pada lama paparan 5-25 menit belum menunjukkan kenaikan jumlah penurunan koloni bakteri secara signifikan. Sedangkan pada medan listrik berpulsa dengan kuat medan sebesar 3,5 kV/cm dengan lama paparan 20 menit jumlah koloni bakteri menjadi 1,32 Log dan kemudian mengalami kenaikan jumlah penurunan koloni bakteri pada lama paparan 25 menit dengan kuat medan sebesar 3,5 kV/cm menjadi 1,84 Log. Selain itu jumlah penurunan koloni bakteri mengalami peningkatan dengan pesat pada kuat medan listrik sebesar 4 kV/cm dengan lama paparan 5-25 menit menjadi 5,47-9,95 Log. Dengan kata lain, pada saat paparan kuat medan listrik dinaikkan menjadi 4 kV/cm menyebabkan penurunan jumlah koloni bakteri semakin besar.

Terjadinya ketidakseimbangan penurunan jumlah koloni bakteri *Salmonella typhi* pada saat pemaparan medan listrik sebesar 3 kV/cm kemungkinan karena bakteri *Salmonella typhi* bukanlah 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 produk susu murni.

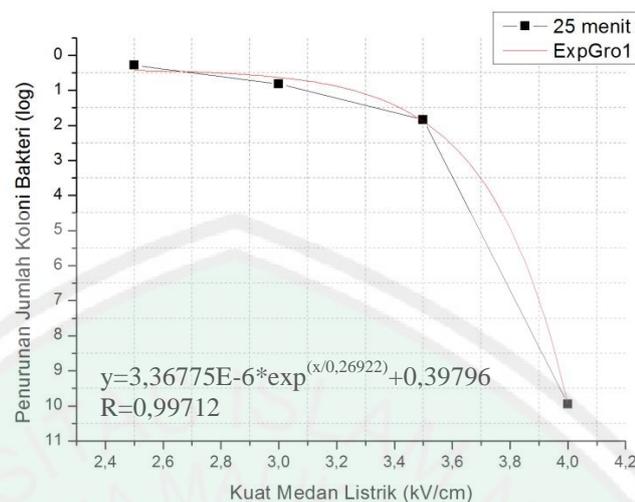
Plot analisis penurunan jumlah koloni bakteri dalam bentuk Log untuk mengetahui besar kuat medan listrik berpulsa minimal yang digunakan dengan waktu paparan selama 5 menit ditunjukkan berturut-turut pada gambar 4.3, 4.4, dan 4.5.



Gambar 4.3 Plot analisis penurunan jumlah rata-rata koloni bakteri *Salmonella typhi* setelah dipapari medan listrik berpulsa selama 5 menit.



Gambar 4.4 Plot analisis penurunan jumlah rata-rata koloni bakteri *Salmonella typhi* setelah dipapari medan listrik berpulsa selama 15 menit.



Gambar 4.5 Plot analisis penurunan jumlah rata-rata koloni bakteri *Salmonella typhi* setelah dipapari medan listrik berpulsa selama 25 menit.

Plot analisis pada gambar 4.3 menunjukkan penurunan jumlah koloni rata-rata bakteri *Salmonella typhi* dalam bentuk Log setelah dipapari medan listrik berpulsa selama 5 menit. Persamaan yang diperoleh adalah  $y=1,64154E-6*\exp^{(x/0,26672)}+0,11816$ , dimana  $y$  merupakan jumlah penurunan bakteri dan  $x$  merupakan kuat medan listrik minimal. Berdasarkan data plot analisis yang diperoleh, jika diinginkan kematian jumlah koloni bakteri *Salmonella typhi* secara menyeluruh dengan waktu paparan selama 5 menit, maka dibutuhkan kuat medan listrik dengan pulsa minimal sebesar 4,78 kV/cm tertera pada lampiran 7. Pada gambar 4.4 persamaan yang diperoleh dengan paparan medan listrik selama 15 menit adalah  $y=4,63037E-6*\exp^{(x/0,27976)}+0,18978$ , hasil kuat medan listrik yang dibutuhkan untuk menonaktifkan seluruh bakteri sebesar 4,72 kV/cm sesuai dengan lampiran 7. Sedangkan pada gambar 4.5 paparan medan listrik yang diberikan selama 25 menit menghasilkan persamaan yaitu  $y=3,36775E-6*\exp^{(x/0,26922)}+0,39796$  dengan hasil kuat medan listrik yang dibuthkan untuk

menonaktifkan bakteri *Salmonella typhi* secara menyeluruh sebesar 4,63 kV/cm sesuai dengan lampiran 7.

#### 4.1.2 Pengaruh Lama Paparan Medan Listrik Berpulsa Terhadap Penurunan Jumlah Koloni Bakteri *Salmonella typhi* pada Susu Sapi

##### 1. Data Hasil Penelitian

Lama paparan medan listrik berpulsa juga mempengaruhi jumlah koloni bakteri *Salmonella typhi* pada susu sapi yang dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 4.2 Data Penurunan Jumlah Koloni Bakteri *Salmonella typhi* Setelah Dipapari Medan Listrik Berpulsa

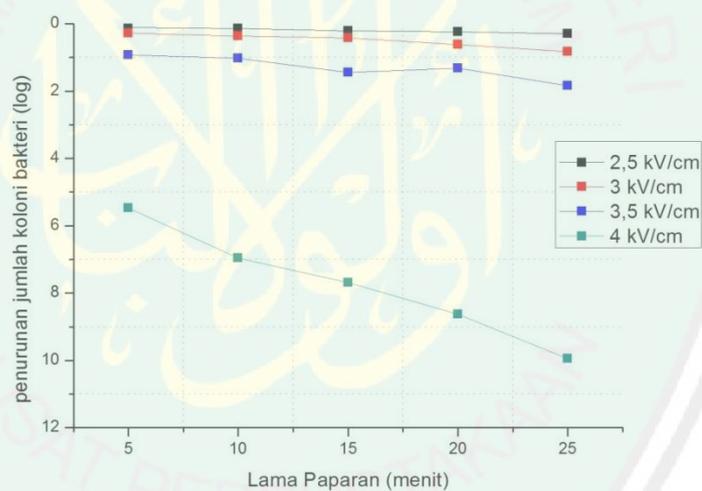
Medan Listrik (kV/cm)	Penurunan Jumlah Koloni Bakteri (Log)					Kontrol ( $\times 10^7$ CFU/ml)
	5 menit	10 menit	15 menit	20 menit	25 menit	
2,5	0,11	0,14	0,21	0,23	0,29	9,95
3	0,28	0,36	0,42	0,61	0,82	
3,5	0,93	1,02	1,44	1,32	1,84	
4	5,47	6,95	7,69	8,63	9,95	

Tabel 4.2 menjelaskan bahwa waktu pemaparan medan listrik berpulsa yang diberikan pada susu sapi mempengaruhi pertumbuhan jumlah koloni bakteri *Salmonella typhi*. Ketika waktu pemaparan dilakukan selama 5 menit, jumlah koloni bakteri *Salmonella typhi* yang mati mengalami kenaikan dari 2,5 kV/cm sejumlah 0,11 Log dan pada 4 kV/cm menjadi 5,47 Log. Pada waktu pemaparan selama 10 menit jumlah kematian koloni bakteri *Salmonella typhi* mengalami kenaikan juga dimana pada paparan 2,5 kV/cm sejumlah 0,14 Log menjadi 6,95 Log saat pemaparan dengan kuat medan 4 kV/cm. Pada waktu pemaparan dinaikkan selama 15 menit jumlah kematian koloni bakteri meningkat drastis dari

0,21 Log pada saat pemaparan sebesar 2,5 kV/cm menjadi 7,69 kV/cm pada saat pemaparan sebesar 4 kV/cm. Kenaikan jumlah kematian koloni bakteri *Salmonella typhi* juga terlihat melonjak pada waktu paparan ditingkatkan selama 25 menit dengan paparan sebesar 2,5 kV/cm sejumlah 0,29 Log menjadi 9,95 Log pada pemaparan sebesar 4 kV/cm.

## 2. Analisis Data Hasil Penelitian

Pengaruh lamanya pemaparan medan listrik berpulsa terhadap penurunan jumlah koloni bakteri *Salmonella typhi* dapat dilihat pada gambar 4.6:

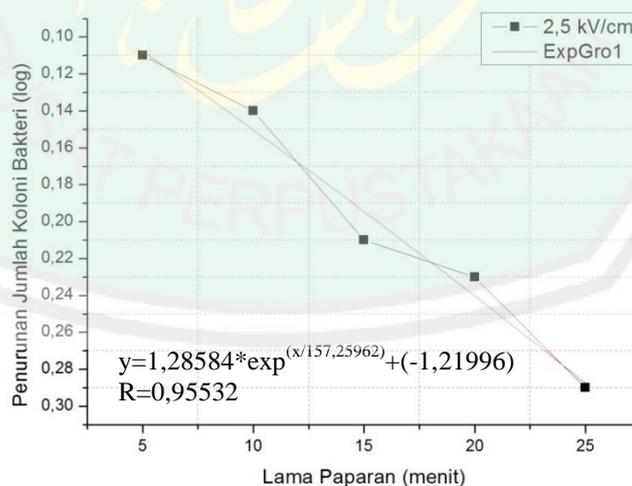


Gambar 4.6 Grafik tentang pengaruh lama paparan (5menit, 10 menit, 15 menit, 20 menit, 25 menit) pada penurunan jumlah koloni bakteri *Salmonella typhi*

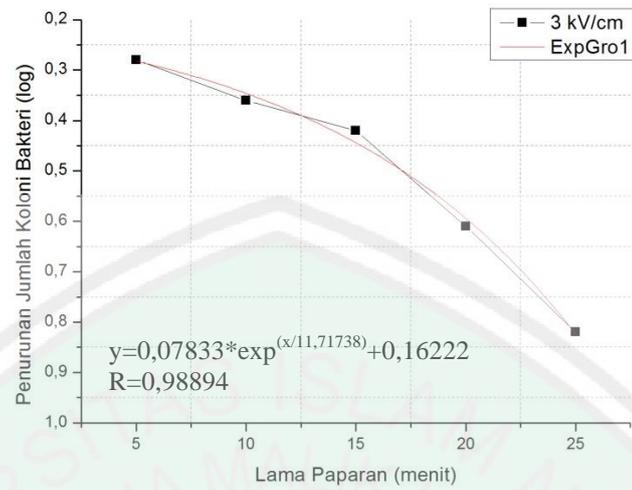
Gambar 4.6 menunjukkan grafik penurunan jumlah koloni bakteri *Salmonella typhi* setelah dipapari medan listrik berpulsa sebesar 2,5 kV/cm, 3 kV/cm, 3,5 kV/cm, dan 4 kV/cm dengan lama waktu pemaparan secara berkala selama 5 menit, 10 menit, 15 menit, 20 menit dan 25 menit. Pada grafik kuat medan listrik sebesar 2,5 kV/cm dan 3 kV/cm dengan lama pemaparan selama 5-

25 menit menunjukkan efek penurunan jumlah koloni bakteri secara teratur. Kemudian pada paparan kuat medan listrik sebesar 3,5 kV/cm selama 5-15 menit terlihat penurunan jumlah koloni bakteri secara signifikan. Akan tetapi pada paparan selama 20 menit terjadi kenaikan pada grafik yang menunjukkan bahwa kematian bakteri tidak terjadi dengan sempurna sehingga terdapat beberapa bakteri yang berkembang biak. Namun pada saat paparan selama 25 menit jumlah bakteri yang hidup mengalami penurunan drastis. Kemudian pada paparan kuat medan listrik sebesar 4 kV/cm selama 5-25 menit menunjukkan efek penurunan jumlah koloni bakteri yang hidup secara signifikan.

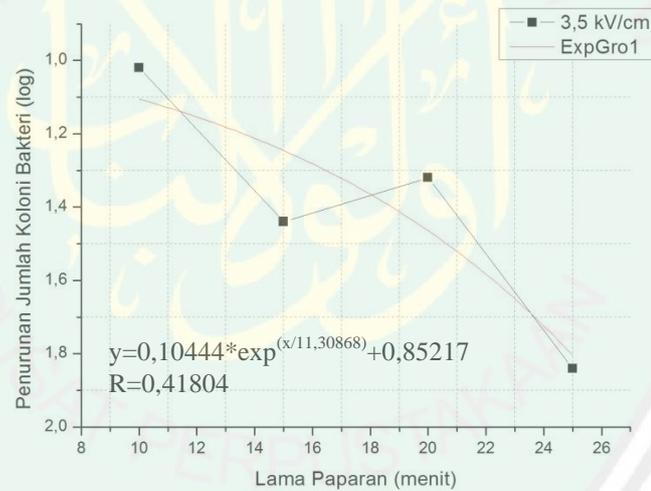
Hal ini menjelaskan bahwa semakin lama waktu paparan yang diberikan maka jumlah bakteri yang hidup akan semakin sedikit. Penurunan lebih besar terjadi pada paparan medan listrik sebesar 4 kV/cm dengan lama paparan 25 menit yang mana menunjukkan bahwa bakteri mengalami kematian secara total.



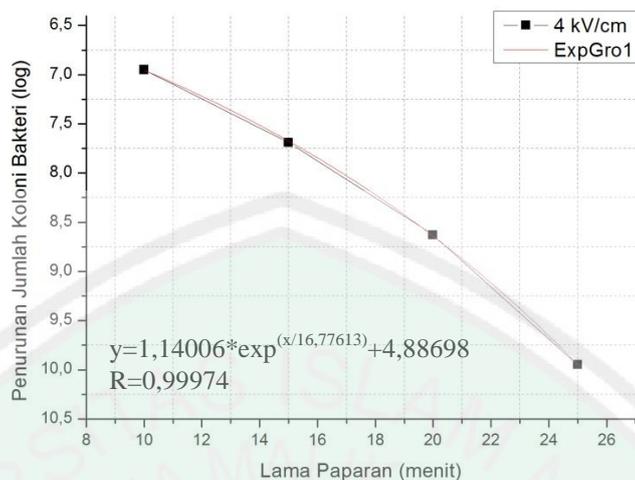
Gambar 4.7 Plot analisis penurunan jumlah rata-rata koloni bakteri *Salmonella typhi* dengan paparan medan listrik berpulsa sebesar 2,5 kV/cm.



Gambar 4.8 Plot analisis penurunan jumlah rata-rata koloni bakteri *Salmonella typhi* dengan pemaparan medan listrik berpulsa sebesar 3 kV/cm.



Gambar 4.9 Plot analisis penurunan jumlah rata-rata koloni bakteri *Salmonella typhi* dengan pemaparan medan listrik berpulsa sebesar 3,5 kV/cm.



Gambar 4.10 Plot analisis penurunan jumlah rata-rata koloni bakteri *Salmonella typhi* dengan paparan medan listrik berpulsa sebesar 4 kV/cm.

Berdasarkan gambar 4.7 menunjukkan plot analisis penurunan jumlah rata-rata koloni bakteri *Salmonella typhi* dengan kuat medan listrik sebesar 2,5 kV/cm, diperoleh persamaan yaitu  $y = 1,28584 * \exp^{(x/157,25962)} + (-1,21996)$ . Persamaan tersebut digunakan untuk menentukan lama paparan minimum pada medan listrik berpulsa dengan keterangan y adalah penurunan jumlah koloni bakteri dan x adalah lama paparan yang diberikan. Jika diinginkan kematian koloni bakteri secara menyeluruh sebesar 10 Log dengan paparan medan listrik berpulsa sebesar 2,5 kV/cm maka waktu minimum yang diperlukan selama 686,58 menit sesuai dengan lampiran 8. Pada gambar 4.8 menunjukkan plot analisis jumlah koloni bakteri *Salmonella typhi* selama paparan dengan kuat medan listrik sebesar 3 kV/cm dimana diperoleh persamaan  $y = 0,07833 * \exp^{(x/11,71738)} + 0,16222$ . Berdasarkan persamaan tersebut, jika diinginkan penurunan jumlah koloni bakteri sebesar 10 Log maka waktu paparan minimum yang diperlukan untuk

menonaktifkan seluruh bakteri selama 83,78 menit sesuai dengan lampiran 8. Selain itu pada gambar 4.9 menunjukkan jika ingin penurunan bakteri *Salmonella typhi* secara menyeluruh sebesar 10 log dengan kuat medan listrik sebesar 3,5 kV/cm dihitung menggunakan persamaan  $y=0,10444*\exp^{(x/11,30868)}+0,85217$  sehingga diperoleh hasil waktu pemaparan minimal selama 77,53 menit sesuai dengan lampiran 8. Sedangkan pada gambar 4.10 menunjukkan bahwa dengan kuat medan listrik sebesar 4 kV/cm diperoleh persamaan  $y=1,14006*\exp^{(x/16,77613)}+4,88698$ . Jika diinginkan penurunan jumlah koloni bakteri yang hidup secara menyeluruh sebesar 10 Log, maka waktu paparan minimum yang diperlukan selama 74,22 menit sesuai dengan lampiran 8. Jadi, semakin kecil kuat medan listrik yang diberikan, maka lama waktu pemaparan yang diperlukan semakin besar untuk menonaktifkan seluruh jumlah koloni bakteri yang terdapat pada susu.

#### **4.1.3 Data Hasil Pengujian Alkohol pada Susu Sapi Setelah Dipapari Medan Listrik Berpulsa**

Berikut ini merupakan data hasil pengujian alkohol pada susu sapi yang telah dipapari medan listrik berpulsa sebesar 2,5 kV/cm, 3 kV/cm, 3,5 kV/cm dan 4 kV/cm dengan masing-masing lama penyimpanan selama 4 jam (240 menit), 8 jam (480 menit) dan 12 jam (720 menit). Selama masa penyimpanan, susu sapi ditempatkan dalam suhu ruangan kemudian diamati perubahan yang terjadi baik pada bentuk fisik susu dan kemudian diuji reaksi alkohol pada susu.

Tabel 4.3 Data Hasil Uji Alkohol pada Susu Sapi Setelah Dipapari Medan Listrik Berpuls

Medan Listrik (kV/cm)	Lama Penyimpanan (jam)		
	4	8	12
kontrol	positif	positif	positif
2,5	positif	positif	positif
3	positif	positif	positif
3,5	positif	positif	positif
4	positif	positif	positif

Kuat medan listrik yang diberikan pada susu sapi menunjukkan reaksi positif terhadap perubahan fisik dan produksi alkohol dalam susu. Selama inkubasi 4 jam pertama bentuk fisik susu mengalami penggumpalan sedikit demi sedikit dengan reaksi positif mengandung alkohol. Semakin lama masa penyimpanan susu dalam ruang terbuka menyebabkan susu menjadi lebih menggumpal terutama setelah 8 jam masa penyimpanan. Hal ini dikarenakan terjadi perubahan sifat protein, dimana kasein yang ada didalam protein susu menjadi tidak stabil dengan adanya asam yang dihasilkan oleh bakteri. Selanjutnya ketika diamati pada 12 jam kemudian bentuk fisik susu mengeras dan terpisahkan menjadi dua bagian yaitu hasil penggumpalan lemak susu dan air keruh. Dalam hal ini penambahan masa penyimpanan susu dalam suhu ruangan akan tetap membuat susu mengandung alkohol. Selain itu terdapat bercak putih dan bercak hitam dipinggiran botol flakon tempat menyimpan susu.

## 4.2 Pembahasan

### 4.2.1 Pengaruh Paparan Medan Listrik Berpulsa dan Waktu Paparan Terhadap Penurunan Log Bakteri

Berdasarkan data hasil penelitian diatas, dapat diketahui bahwa besarnya medan listrik berpulsa yang digunakan serta lamanya paparan yang diberikan pada saat penelitian dilakukan mempengaruhi penurunan log jumlah koloni bakteri secara keseluruhan. Ketika susu dilihat berdasarkan paparan medan listrik berpulsa, menunjukkan semakin besar kuat medan listrik yang diberikan maka semakin kecil lama paparan yang dibutuhkan untuk menonaktifkan bakteri. Sedangkan berdasarkan lamanya waktu paparan yang diberikan, semakin lama waktu paparan yang diberikan maka semakin besar kemungkinan jumlah bakteri yang tidak aktif dalam susu.

Pengaruh paparan medan listrik berpulsa terhadap penurunan jumlah koloni bakteri *Salmonella typhi* pada susu sapi dapat dilihat pada gambar 4.2 dimana semakin tinggi kuat medan listrik yang diberikan maka pertumbuhan jumlah koloni bakteri semakin menurun. Paparan medan listrik berpulsa mempengaruhi permeabilitas membran sel dalam bakteri *Salmonella typhi* hingga terjadi peristiwa elektroporasi dalam sel. Elektroporasi menyebabkan tegangan transmembran meningkat sehingga membran sel mengalami kebocoran (Apriliawan, 2012). Semakin besar medan listrik yang diberikan memberikan tekanan yang tinggi pada membran sel bakteri hingga membengkak dan membran sel menjadi pecah. Akhirnya kerusakan yang terjadi pada membran sel tersebut menimbulkan lubang-lubang kecil yang menyebabkan terjadinya kebocoran dalam

sel dan menimbulkan kematian bakteri itu sendiri. Semakin lama waktu paparan medan listrik berpulsa yang diberikan kepada bakteri maka akan semakin cepat bakteri mencapai ambang kritis diantara dinding membran sel yang dapat menyebabkan terjadinya kerusakan pada membran sel bakteri hingga menuju kematian bakteri itu sendiri.

Berdasarkan gambar 4.6 dapat diketahui terdapat hubungan antara lama paparan medan listrik dengan penurunan jumlah bakteri *Salmonella typhi* pada susu sapi. Lama waktu pemaparan medan listrik mengenai bakteri mempengaruhi tingkat kerusakan dari membran sel bakteri. Semakin lama waktu paparan yang diberikan menyebabkan dinding membran sel (lipoprotein) bakteri rusak. Ketika kuat medan listrik dinaikkan, terjadi peningkatan energi yang kemudian menyebabkan bakteri mengalami elektroporasi dan lipoprotein menjadi berlubang. Jika pemaparan dibiarkan lebih lama, membran sel yang berlubang akan mengalami kerusakan sehingga jumlah bakteri yang hidup semakin menipis dan mati. Namun pada waktu pemaparan 10 menit-15 menit, terjadi kenaikan jumlah koloni bakteri. Hal tersebut terjadi dikarenakan pada saat pemaparan medan listrik berpulsa melemah dan sebelum kerusakan pori-pori membran sel berkembang menjadi lebih besar, membran sel melakukan pemulihan dan kembali menjadi utuh. Proses ini dikenal sebagai elektroporasi *reversible* (Roodenburg, 2011).

#### 4.2.2 Hubungan Lama Penyimpanan Dengan Pengujian Alkohol Pada Susu

Medan listrik berpulsa memberikan reaksi positif terhadap produksi alkohol yang ada pada susu. Hal ini dikarenakan sesudah susu diinkubasi selama 24 jam pertama dalam inkubator dengan bakteri *Salmonella typhi*, susu mengalami perubahan sifat protein dan lemak, dimana kasein yang terkandung di dalam protein susu menjadi tidak stabil dengan adanya asam yang dihasilkan oleh bakteri. Selanjutnya ketika susu sapi diberi penambahan alkohol dan disimpan dalam suhu ruangan selama 4-12 jam tetap menyebabkan terjadinya penggumpalan pada susu sapi tersebut. Semakin lama penyimpanan yang diberikan menyebabkan susu semakin memisah dan terpecah menjadi bagian lemak dan air, dimana kandungan air yang terdapat pada susu menjadi alkohol dan merusak serta memberikan rasa asam pada susu jika diminum. Dan lemak yang terdapat pada susu tersebut mengandung kandungan yang sudah tidak bermanfaat bagi tubuh.

### 4.3 Integrasi Dalam Al-Qur'an

Allah SWT menciptakan sesuatu dalam kehidupan ini baik manusia, hewan, maupun tumbuhan sekalipun tidak dengan keadaan yang sia-sia. Penciptaan yang dibuat sedemikian rupa oleh Allah SWT terdiri dari berbagai macam bentuk dan manfaat yang terkandung di dalamnya, sebagaimana firman Allah SWT dalam Q.S. An-Nur (24) ayat 45:

وَاللَّهُ خَلَقَ كُلَّ دَابَّةٍ مِنْ مَّاءٍ فَمِنْهُمْ مَنْ يَمْشِي عَلَى بَطْنِهِ وَمِنْهُمْ مَنْ يَمْشِي عَلَى رِجْلَيْنِ  
وَمِنْهُمْ مَنْ يَمْشِي عَلَى أَرْبَعٍ يَخْلُقُ اللَّهُ مَا يَشَاءُ إِنَّ اللَّهَ عَلَى كُلِّ شَيْءٍ قَدِيرٌ ﴿٤٥﴾

*“Dan Allah telah menciptakan semua jenis hewan dari air, maka sebagian dari hewan itu ada yang berjalan di atas perutnya dan sebagian berjalan dengan dua kaki sedang sebagian (yang lain) berjalan dengan empat kaki. Allah menciptakan apa yang dikehendaki-Nya, Sesungguhnya Allah Maha Kuasa atas segala sesuatu”.*

Menurut tafsir Departemen Agama RI, ayat di atas menjelaskan bahwa Allah mengarahkan perhatian manusia supaya memperhatikan binatang-binatang yang bermacam-macam jenis dan bentuknya. Dia telah menciptakan semua jenis binatang itu dari air. Masing-masing binatang itu diberi naluri, anggota tubuh, dan alat-alat pertahanan agar ia dapat menjaga kelestarian hidupnya. Ahli-ahli ilmu hewan merasa kagum memperhatikan susunan anggota tubuh masing-masing hewan itu sehingga ia dapat bertahan atau menghindarkan diri dari musuhnya yang hendak membinasakannya. Hal itu semua menunjukkan kekuasaan Allah SWT, ketelitian dan kekukuhan ciptaan-Nya.

Allah menerangkan bahwa Dia menciptakan apa yang dikehendaki-Nya bukan saja binatang-binatang yang berkaki banyak tetapi mencakup semua

binatang dengan berbagai macam bentuk termasuk bakteri. Salah satu bakteri yang menyebabkan kerugian bagi makhluk hidup adalah bakteri *Salmonella typhi*. *Salmonella typhi* merupakan bakteri gram negatif yang menjadi kuman patogen penyebab demam tifoid yang tersebar diseluruh dunia dan masih menjadi masalah kesehatan terbesar di negara berkembang salah satunya Indonesia. Seseorang yang kekebalan tubuhnya menurun ketika mengkonsumsi makanan salah satunya telur yang kurang matang akan menyebabkan ia menderita infeksi salmonella. Infeksi salmonella bisa berakibat fatal apabila menyerang bayi, balita, ibu hamil dan kandungannya. Oleh karena itu kontaminasi salmonella dapat dicegah dengan menjaga kematangan makanan yang dikonsumsi serta kebersihan dalam mencuci tangan.

Dalam Al-Qur'an surah Al Maidah (5) ayat 88 Allah menjelaskan:

وَكُلُوا مِمَّا رَزَقَكُمُ اللَّهُ حَلَالًا طَيِّبًا وَاتَّقُوا اللَّهَ الَّذِي أَنْتُمْ بِهِ مُؤْمِنُونَ ﴿٨٨﴾

Artinya: “dan makanlah dari apa yang telah diberikan Allah kepadamu sebagai rezeki yang halal dan baik, dan bertakwalah kepada Allah yang kamu beriman kepada-Nya”.

Pada ayat ini Allah memerintahkan kepada hamba-Nya agar mereka makan rezeki yang halal dan baik, yang telah dikaruniakan-Nya kepada mereka. Berdasarkan kata *حَلَالًا طَيِّبًا* (yang halal dan baik), “halal” disini mengandung pengertian halal bendanya dan halal cara memperolehnya. Sedangkan “baik” adalah dari segi kemanfaatannya, yaitu yang mengandung manfaat dan mashlahat bagi tubuh, mengandung gizi, vitamin, protein dan sebagainya. Makanan yang

tidak baik, selain mengandung gizi yang tidak baik jika dikonsumsi akan merusak kesehatan.

Salah satu sumber gizi yang baik bagi pertumbuhan manusia adalah susu. Susu merupakan salah satu minuman yang mempunyai nilai gizi yang seimbang, 4 sehat 5 sempurna. Susu biasa diminum oleh bayi untuk memenuhi kebutuhannya yang diberikan oleh ibu kandungnya yang menyusui. Sedangkan untuk orang dewasa yang masih minum susu biasanya memilih untuk mengkonsumsi susu hasil olahan pabrik yang berasal dari hewani seperti susu sapi, susu kambing, susu kuda dan susu domba. Susu ini biasanya diolah terlebih dahulu oleh pabrik untuk menghasilkan susu yang baik dan halal bagi konsumennya.

Prinsip “halal dan baik” ini hendaknya senantiasa menjadi perhatian dalam menentukan makanan dan minuman yang akan dimakan untuk diri sendiri dan untuk keluarga, karena makanan dan minuman itu tidak hanya berpengaruh terhadap jasmani, melainkan juga terhadap rohani. Dalam riwayat At-Tirmidzi menjelaskan bahwa setiap daging yang tumbuh dari sesuatu yang haram, maka neraka lebih baik baginya.

... وَكُلُوا وَاشْرَبُوا وَلَا تُسْرِفُوا إِنَّهُ لَا يُحِبُّ الْمُسْرِفِينَ ﴿٣١﴾

*“makan dan minumlah, tetapi jangan berlebihan, sungguh allah tidak menyukai orang yang berlebih-lebihan (al- a'raf (7) ayat 31.*

Pada ayat *كُلُوا وَاشْرَبُوا* Allah berfirman “makan dan minumlah kalian” dimana sebagian ulama salaf mengatakan bahwa Allah menghimpun semua kebaikan dalam ayat ini. Jika dihubungkan dengan kalimat sebelumnya, makna yang

dimaksud ialah makanlah sesukamu dan berpakaianlah sesukamu selagi engkau hindari dua pekerti, yaitu berlebih-lebihan dan sombong.

Menurut Syaikh Dr. Muhammad Sulaiman Al Asyqar dalam Zubdatut Tafsir Min Fathil Qadir suatu ketika seorang nasrani yang merupakan tabib pribadi khalifah Harun Al-Rasyid berkata kepada salah seorang ulama di masa itu, “Dalam kitab kalian tidak sedikitpun dituliskan ilmu tentang kedokteran”. Kemudian sang ulama menjawab, “Sesungguhnya Allah telah mengumpulkan ilmu kedokteran dalam satu ayat dari kitab kami” sembari sang ulama membacakan surat Al A’raf ayat 31 dan menegaskan pada bagian *إِنَّهُ لَا يُحِبُّ الْمُسْرِفِينَ*.

Ayat ini menjelaskan bahwa Allah tidak menyukai seseorang yang berlebihan dalam segala aspek. Salah satunya adalah sikap berlebih-lebihan dalam menggunakan energi listrik. Oleh karena itu peneliti melakukan pengujian dengan medan listrik berpulsa minimal yang dapat mengamalkan ayat tersebut untuk menghemat energi listrik sehingga tidak berlebihan dalam penggunaannya.

Besar medan listrik yang digunakan dalam penelitian ini untuk menghambat pertumbuhan bakteri *Salmonella typhi* pada susu sapi murni dapat meningkatkan permeabilitas dari membran bakteri. Semakin lama waktu yang diberikan saat pemaparan medan listrik maka pori-pori sel bakteri mengalami penebalan dan mengakibatkan kematian pada bakteri. Kombinasi kuat medan listrik dan lama paparan minimal yang diperoleh dari hasil penelitian yaitu ketika medan listrik sebesar 4,6 kV/cm dan waktu selama 25 menit jumlah koloni bakteri *Salmonella typhi* mengalami penurunan drastis.

## BAB V

### PENUTUP

#### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian tentang pengaruh medan listrik berpulsa untuk menghambat pertumbuhan bakteri *Salmonella typhi* pada susu sapi murni, dapat disimpulkan bahwa:

1. Kuat medan listrik berpulsa memberikan pengaruh positif terhadap penurunan jumlah koloni bakteri *Salmonella typhi* pada susu murni. Medan listrik minimal yang dapat digunakan untuk menghambat pertumbuhan bakteri *Salmonella typhi* pada susu murni berada pada kuat medan listrik berpulsa sebesar 4,6 kV/cm.
2. Lama paparan medan listrik berpulsa berpengaruh terhadap penurunan jumlah koloni bakteri *Salmonella typhi*. Penurunan jumlah koloni bakteri secara signifikan terjadi pada lama paparan medan listrik berpulsa selama 25 menit.
3. Hasil penelitian menunjukkan uji alkohol pada susu rata-rata positif mengandung alkohol sejak masa simpan 4 jam setelah pemaparan hingga 12 jam setelah pemaparan dalam suhu ruangan. Penambahan perlakuan kuat medan listrik berpulsa terhadap susu serta penambahan lama masa penyimpanan susu dalam suhu ruangan memberikan kesimpulan bahwa susu positif mengandung alkohol.

## 5.2 Saran

1. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut dengan paparan kuat medan listrik berpulsa yang berbeda dengan lama paparan yang berbeda.
2. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut terhadap kandungan nutrisi yang lainnya seperti suhu dan pH.
3. Perlu diperhatikan keadaan alat dan bahan saat proses pengenceran agar selalu dalam kondisi steril untuk mencegah terjadinya kontaminasi bakteri.



## DAFTAR PUSTAKA

- Al-Qur'an dan Terjemah. 2009. Bandung: Departemen Agama RI.
- Apriliawan, Hadi. 2012. *Laban electric alat pasteurisasi susu keju listrik tegangan tinggi (Pulsed Electric Field) menggunakan flyback transformer*. Malang: Universitas Brawijaya.
- Barbosa-Canovas, G.V., Enrique, O., Pablo, J, dan Hong, Y. 2005. *Food powders: physical properties, processing, and functionality*. Kluwer Academic/Plenum Publishers: New York.
- Benson, Harold J. 2002. *Microbiological Applications Laboratory Manual in General Microbiology*. New York: McGraw-Hill.
- Brooks, Geo. F., Butel, Janet S., Morse, S. 2005. *Mikrobiologi Kedokteran (Medical Microbiology)*. Jakarta: Salemba Medika.
- Bueche, Frederick J. 2006. *Fisika Universitas*. Jakarta: Erlangga.
- Buckle KA, Edwards RA, Fleet GH, Wootton M. 1987. Ilmu Pangan. Penerbit Universitas Indonesia. Jakarta.
- Departemen Agama RI. 2010. Al-Qur'an dan Tafsirnya (Edisi yang Disempurnakan). Jakarta: Lentera Abadi.
- Djajati, Sri., Mulyani, Tri., Muawwanah, Iddah. 2014. *Efektivitas Medan Listrik Berdenyut Terhadap Penurunan Populasi Salmonella thypi Pada Susu*. J. Rekapangan, 8(1): 190-198.
- Fang J., Piao Z., dan Zhang X. 2006. *Study on High-Voltage Pulsed Electric Fields Sterilization Mechanism Experiment*. The Journal of American Science, 2(2); 39-43.
- Giancoli, Douglas C. 2001. *Fisika Edisi Kelima Jilid Dua*. Jakarta: Erlangga.

- Gustiani, E. 2009. Pengendalian Cemaran Mikroba pada Bahan Pangan Asal Ternak (Daging dan Susu) Mulai dari Peternakan sampai Dihidangkan. *Jurnal Litbang Pertanian*, 28(3): 96-100.
- Halliday, D. Resnick, dan Robert, J. Walker. 1991. *Fundamental of Physics 9th Edition*. John Wiley & Sons. Hoboken: Inc. USA.
- Jayarao, B. M., S. C. Donaldson, B. A., Straley, A. A. Sawant, N. V. Hegde, and J. L. Brown. 2006. *A survey of foodborne pathogens in bulk tank milk and raw milk consumption among farm families in Pennsylvania. J. Dairy Sci.* (89): 2451–2458.
- Jawetz, E., Melnick, J.L. & Adelberg, E.A. 2005. *Mikrobiologi Kedokteran*, diterjemahkan oleh Mudihardi, E., Kuntaman, Wasito, E. B., Mertaniasih, N. M., Harsono, S., Alimsardjono, L., Edisi XXII. Jakarta: Penerbit Salemba Medika.
- Lasmawati, Lilil. 2014. *Potensi Medan Listrik Untuk Penonaktifan Biofilm Dari Bakteri Pseudomona aeruginosa*. Malang: Skripsi S1. Fakultas Saintek UIN Maulana Malik Ibrahim.
- Lingathurai, S, Vellathurai, P, Vendan, S. E, and Anand, A. A. P. 2009. *A comparative study on the microbiological and chemical composition of cow milk from different locations in Madurai, Tamil Nadu. Indian Journal of Science and Technology*. Vol.2 No 2 (Feb. 2009):51-54. ISSN: 0974-6846. India. Diunduh pada tanggal 5 Desember 2017.
- Millogo, V, Sjaunja, K. S, Ouedraogo, G. A dan Agenas, S. 2010. *Raw milk hygiene at farms processing units and local markets in Burkina Faso*. *Food Control* 21 (2010):1070-1074. [www.elsevier.com/locate/foodcont](http://www.elsevier.com/locate/foodcont).
- Muchtadi TR, Sugiyono. 1992. *Ilmu Pengetahuan Bahan Pangan*. Petunjuk Laboratorium. PAU Pangan dan Gizi. Bogor: Institut Pertanian Bogor..

Muslim, Choirul., Hawa, La Choviya., Argo, Bambang Dwi. 2013. *Pasteurisasi Non-Thermal Pada Susu Sapi Segar untuk Inaktivasi Bakteri Staphylococcus aureus Berbasis Pulse Electric Field (PEF)*. Jurnal Keteknikan Pertanian Tropis dan Biosistem 1(1): 35-49.

Puértolas, E., López, N., Raso, S. Condón, Álvarez, I. 2009. *Pulsed electric fields inactivation of wine spoilage yeast and bacteria*. International Journal of Food Microbiology. 130: 49-55.

Qin B, Barbosa-Canovas. G, Swanson. B. G. And Pedrow, P. D. 1999. *Microorganism using a pulsed electric field moment system*. IEEE Trans Indus Applic, 34(1): 43-49.

Raju G. G. 2003. *Dielectrics in Electric Fields*. Marcel Dekker Inc: New York Basel.

Ragheb, Zaghoul. 2010. *Mukhtarat min Tafsir Al-Ayat Al-Kauniyah fi Al-Qur'an Al-Karim*. Tebet, Jakarta Selatan: Shorouk International Bookshop.

Roodenburg, Bart. 2011. *Pulsed Electric Field treatment of packaged food*. Netherlands: Ridderkerk.

Sehah, Abdullah dan Zaroh Irayani. 2009. *Pemanfaatan Teknik Lissajous untuk Mengetahui Korelasi antara Kandungan Air terhadap Sifat Dielektrik Tanah*, *Berkala Fisika*, 12, 77-84. ISSN: 1410-9662.

Siirtola, T. V. A., 2000. *Journal of EstablishMent of Regional Reference Center for Milk Processing and Marketing* (online), ([www.Fao.org/ag/AGInfo/Subjects/en/dairy/quality\\_chain.html](http://www.Fao.org/ag/AGInfo/Subjects/en/dairy/quality_chain.html)).

Diakses pada tanggal 3 Februari 2018 pukul 07.21 WIB.

Sulaiman, Muhammad. 2007. *Zubdatut Tafsir min Fathil Al-Qadir*. Jakarta: Darus Sunnah.

Sumuditha, Meker. 1986. *Air Susu dan Penanganannya*. Program Studi Ilmu Produksi Ternak Perah. Fakultas Peternakan Universitas Udayana.

Sutrisno. 1979. *Seri Fisika Dasar (Fisika Listrik dan Magnet)*. Bandung: ITB.

Teissié J, et al. 2008. *Time dependence of electric field effects on cell membranes. A review for a critical selection of pulse duration for therapeutical applications*. Radio Oncol 42(4): 196-206.

Tirono, M. 2013. Efek Medan Listrik AC terhadap Pertumbuhan Bakteri Klabsiella Pneumonia. *Jurnal Neutrino*. Vol.5 No.2.

Tipler, P. 1991. *Fisika untuk Sains dan Teknik Edisi Ketiga Jilid 1*. Jakarta: Erlangga.

United States of Food and Drug Administration. 1999. *U.S. Food and Drugs* (online), (<https://www.fda.gov/food/fda-food-code/food-code-1999>). Diakses pada tanggal 15 September 2018 pukul 04.12 WIB.

Valic B, et al. 2003. *Effect of Electric Field Induced Transmembrane Potential on Spheroidal Cells: Theory and Experiment*. Eur Biophys J,32: 519-528.

Vollk, W.A. dan Wheeler, M.F. 1993. *Mikrobiologi Dasar Jilid 1 Edisi ke-5*. Jakarta: Erlangga.

Wagner C., Barlag B., Gerlach R. G., Deiwick J., Hensel M. 2014. The *Salmonella enterica* giant adhesin SiiE binds to polarized epithelial cells in a lectin-like manner. *Cell. Microbiol.* 16 962–975 10.1111/cmi.12253.

Wahyudi, M. 2006. Proses Pembuatan dan Analisis Mutu Yogurt. *Buletin Teknik Pertanian*. 11(1): 12-16.

Zaghloul, S. 2010. *Wiley Online Library* (online), (<https://doi.org/10.1111/j.1467-789X.2010.00750.x>). Diakses pada tanggal 7 November 2018 pukul 22.04 WIB.

# LAMPIRAN



**Lampiran 1.**Tabel Data Pengaruh Medan Listrik Berpulsa terhadap Jumlah Rata-Rata Koloni Bakteri *Salmonella typhi*.

Perlakuan		Jumlah Koloni Bakteri (x10 <sup>7</sup> CFU/ml)			Jumlah Rata- Rata Koloni Bakteri (x10 <sup>7</sup> CFU/ml)
Besar Medan Listrik (kV/cm)	Lama Paparan (menit)	1	2	3	
kontrol		611.75	587.375	555.625	584.9167
2,5	5	500	620.125	61.125	393.75
	10	614.126	58.75	112.125	261.667
	15	59.125	160.625	153.125	124.29167
	20	109.75	106.125	155.75	123.875
	25	150.25	156.5	155.125	153.95833
3	5	145	154.875	146.625	148.83333
	10	142.875	105.125	69.75	105.91667
	15	106.125	97.5	94.625	99.416667
	20	98.875	101.625	94.875	98.458333
	25	116.75	104.25	96	105.66667
3,5	5	112.75	108.25	103.625	108.20833
	10	105.625	109.5	106.375	107.16667
	15	105.125	106.25	103.5	104.95833
	20	108.5	100.375	91.75	100.20833
	25	73.5	58	39	56.833333
4	5	21	15.125	10.375	15.5
	10	9.75	7.625	3.875	7.0833333
	15	4.125	2.625	2	2.9166667
	20	1.625	0.875	0.375	0.9583333
	25	0	0	0	0

**Lampiran 2.**Tabel Data Pengaruh Medan Listrik Berpulsa terhadap Penurunan Jumlah Rata-Rata Koloni Bakteri *Salmonella typhi*.

Perlakuan		Jumlah Rata-Rata Koloni Bakteri ( $\times 10^7$ CFU/ml)	Penurunan Jumlah Koloni Bakteri (Log)
Medan Listrik (kV/cm)	Lama Paparan (menit)		
kontrol		584,9167	
2,5	5	393,75	0,11
	10	261,667	0,14
	15	124,29167	0,21
	20	123,875	0,23
	25	153,95833	0,29
3	5	148,833	0,28
	10	105,9167	0,36
	15	99,4167	0,42
	20	98,4583	0,61
	25	105,667	0,82
3,5	5	108,2083	0,93
	10	107,167	1,02
	15	104,9583	1,44
	20	100,2083	1,32
	25	56,833	1,84
4	5	15,5	5,47
	10	7,083	6,95
	15	2,9167	7,69
	20	0,9583	8,63
	25	0	9,95

### Lampiran 3.

Tabel Data Kenaikan Jumlah Koloni Bakteri *Salmonella typhi*.

Perlakuan		Jumlah Rata-Rata Koloni Bakteri ( $\times 10^7$ CFU/ml)	Penurunan Jumlah Koloni Bakteri (Log)	Rentang Jumlah Koloni Bakteri (Log)
Medan Listrik (kV/cm)	Lama Paparan (menit)			
kontrol		584,9167		
2,5	5	393,75	0,11	-
	10	261,667	0,14	0,03
	15	124,29167	0,21	0,07
	20	123,875	0,23	0,02
	25	153,95833	0,29	0,06
3	5	148,833	0,28	-0,01
	10	105,9167	0,36	0,08
	15	99,4167	0,42	0,06
	20	98,4583	0,61	0,19
	25	105,667	0,82	0,21
3,5	5	108,2083	0,93	0,11
	10	107,167	1,02	0,09
	15	104,9583	1,44	0,42
	20	100,2083	1,32	-0,12
	25	56,833	1,84	0,52
4	5	15,5	5,47	3,58
	10	7,083	6,95	1,48
	15	2,9167	7,69	0,74
	20	0,9583	8,63	0,94
	25	0	9,95	1,32

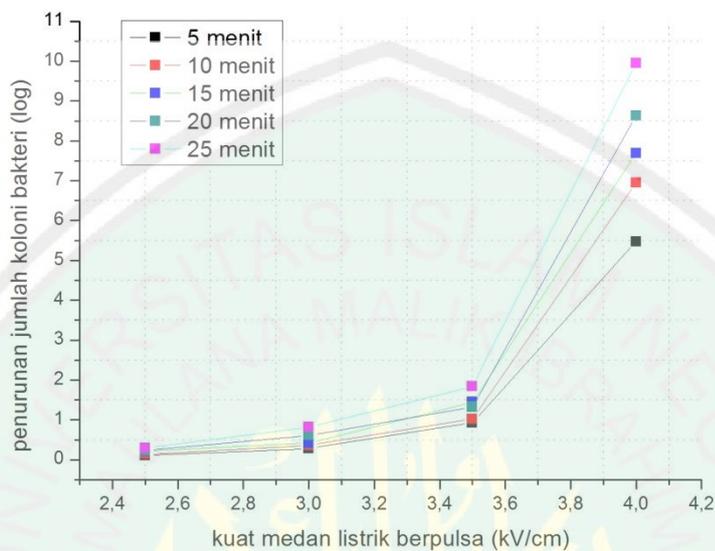
#### Lampiran 4.

Data Pengaruh Lama Penyimpanan terhadap Pengujian Alkohol pada Susu Sapi setelah dipapari Medan Listrik Berpulsa.

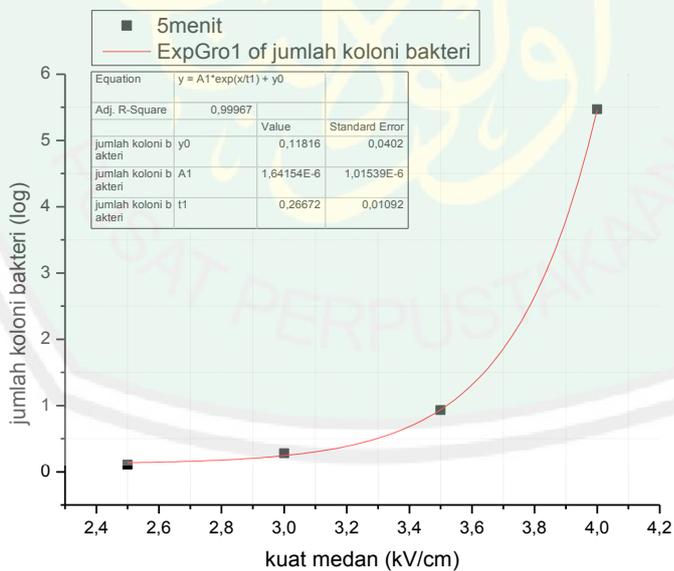
Medan Listrik (kV/cm)	Lama Penyimpanan (menit)	Uji Alkohol
0 (tanpa E)	4	positif
	8	positif
	12	positif
2,5	4	positif
	8	positif
	12	positif
3	4	positif
	8	positif
	12	positif
3,5	4	positif
	8	positif
	12	positif
4	4	positif
	8	positif
	12	positif

**Lampiran 5.**

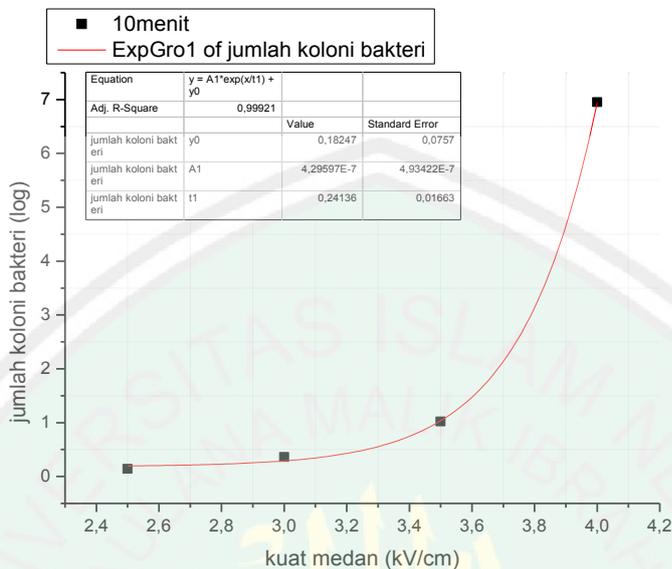
Grafik Hubungan Besar Medan Listrik Berpulsa terhadap Penurunan Jumlah Rata-Rata Koloni Bakteri *Salmonella typhi*.



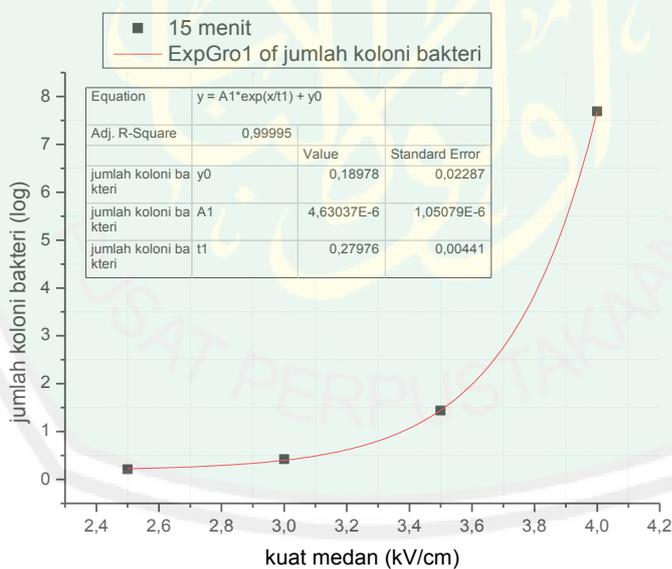
Grafik pengaruh kuat medan listrik berpulsa selama 5 menit terhadap penurunan jumlah koloni bakteri *Salmonella typhi* pada susu sapi.



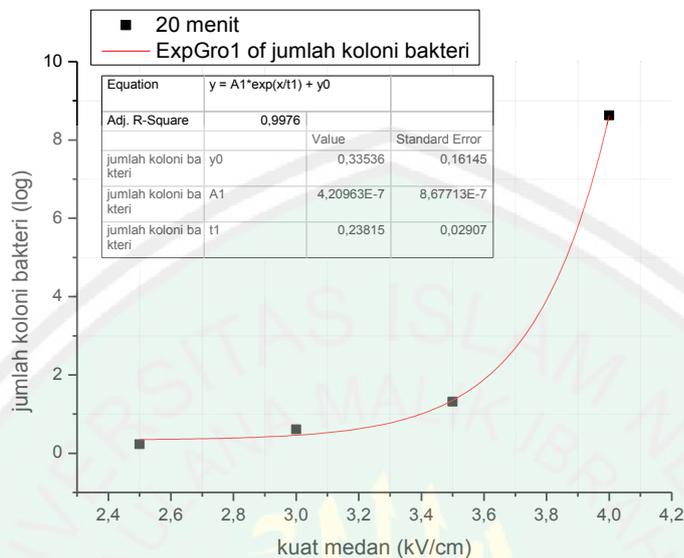
Grafik pengaruh kuat medan listrik berpulsa selama 10 menit terhadap penurunan jumlah koloni bakteri *Salmonella typhi* pada susu sapi.



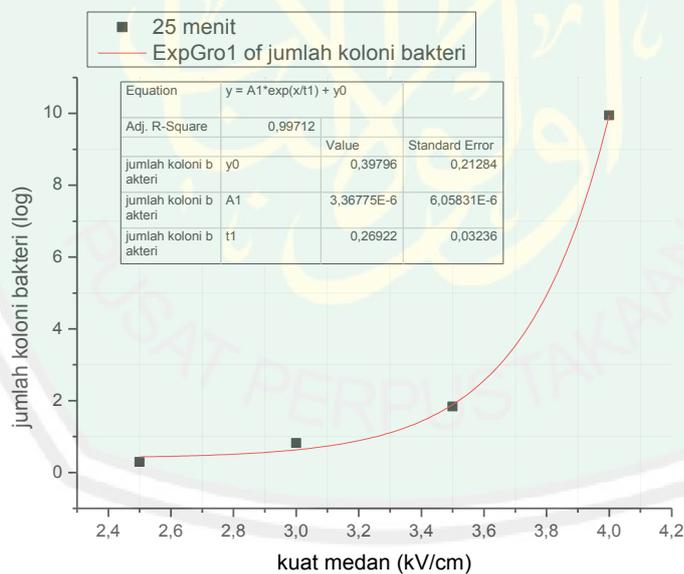
Grafik pengaruh kuat medan listrik berpulsa selama 15 menit terhadap penurunan jumlah koloni bakteri *Salmonella typhi* pada susu sapi.



Grafik pengaruh kuat medan listrik berpulsa selama 20 menit terhadap penurunan jumlah koloni bakteri *Salmonella typhi* pada susu sapi.

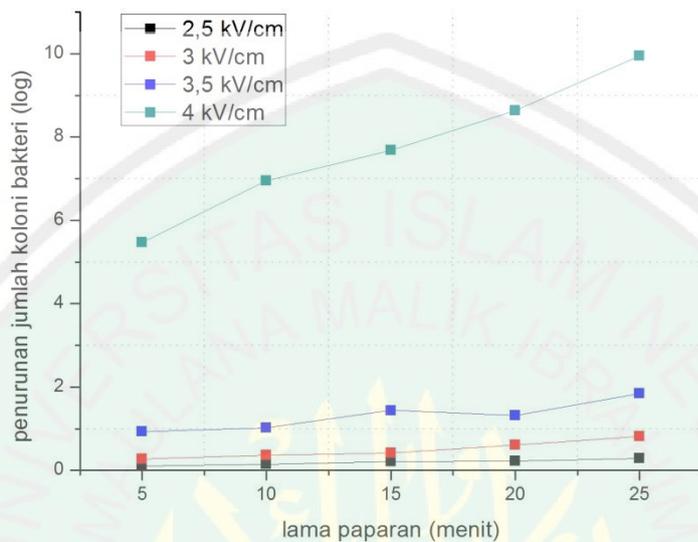


Grafik pengaruh kuat medan listrik berpulsa selama 25 menit terhadap penurunan jumlah koloni bakteri *Salmonella typhi* pada susu sapi.

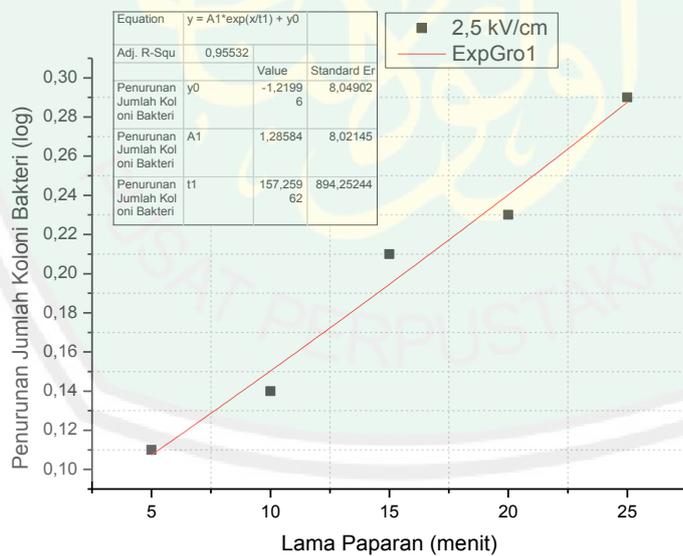


**Lampiran 6.**

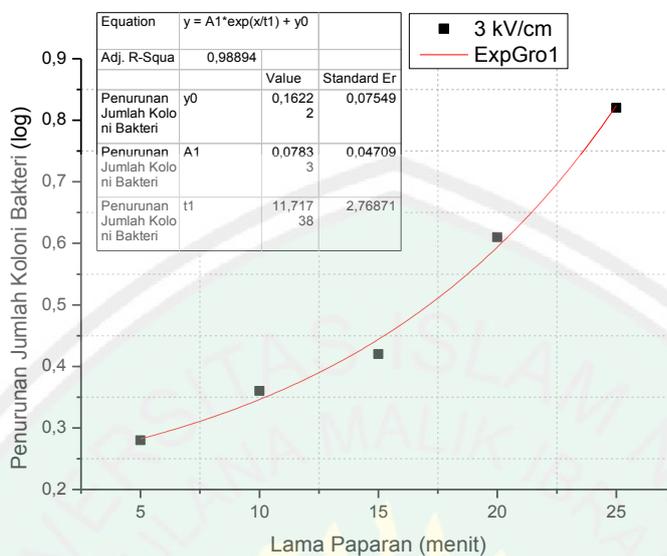
Grafik Hubungan Lama Paparan terhadap Penurunan Jumlah Rata-Rata Koloni Bakteri *Salmonella typhi*.



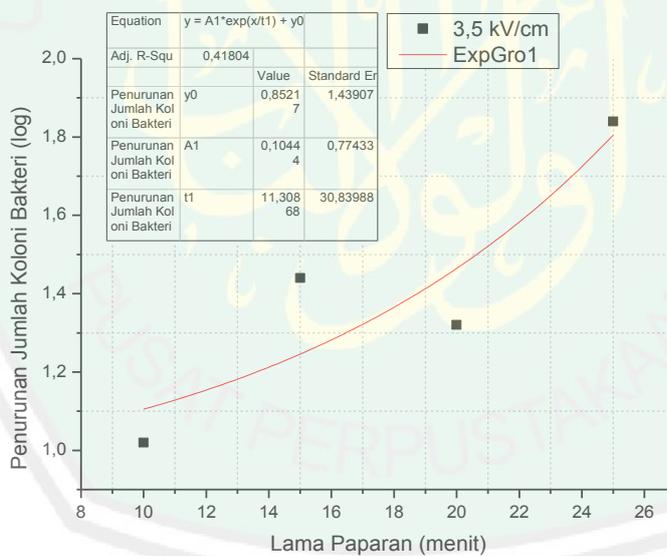
Grafik pengaruh lama paparan medan listrik dengan kuat medan sebesar 2,5 kV/cm terhadap penurunan jumlah koloni bakteri *Salmonella typhi* pada susu sapi.



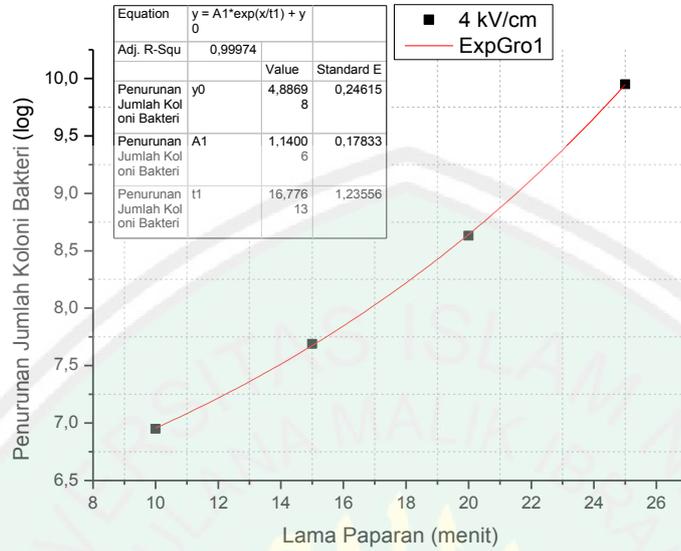
Grafik pengaruh lama paparan medan listrik dengan kuat medan sebesar 3 kV/cm terhadap penurunan jumlah koloni bakteri *Salmonella typhi* pada susu sapi.



Grafik pengaruh lama paparan medan listrik dengan kuat medan sebesar 3,5 kV/cm terhadap penurunan jumlah koloni bakteri *Salmonella typhi* pada susu sapi.



Grafik pengaruh lama paparan medan listrik dengan kuat medan sebesar 4 kV/cm terhadap penurunan jumlah koloni bakteri *Salmonella typhi* pada susu sapi.



## Lampiran 7.

Perhitungan Hubungan Besar Medan Listrik Berpulsa terhadap Penurunan Jumlah Rata-Rata Koloni Bakteri *Salmonella typhi*.

1. Penurunan jumlah koloni bakteri paparan selama 5 menit.

residual sum of squares = 0,00213  
 adj. R-square = 0,99967  
 $y = A1 * \exp(x/t1) + y0$   
 $100 = 1,64154E-6 * \exp\left(\frac{x}{0,26672}\right) + 0,11816$   
 $99,88184 = 1,64154E-6 * \exp\left(\frac{x}{0,26672}\right)$   
 $\ln 6,08E+07 = \exp\left(\frac{x}{0,26672}\right)$   
 $17,92386362 = \frac{x}{0,26672}$   
 $x = 4,780652905$
2. Penurunan jumlah koloni bakteri paparan selama 10 menit.

residual sum of squares = 0,00828  
 adj. R-square = 0,99921  
 $y = A1 * \exp(x/t1) + y0$   
 $100 = 4,29597E-7 * \exp\left(\frac{x}{0,24136}\right) + 0,18247$   
 $99,81753 = 4,29597E-7 * \exp\left(\frac{x}{0,24136}\right)$   
 $\ln 2,32E+08 = \exp\left(\frac{x}{0,24136}\right)$   
 $19,26352935 = \frac{x}{0,24136}$   
 $x = 4,649445443$
3. Penurunan jumlah koloni bakteri paparan selama 15 menit.

residual sum of squares = 6,53713E-4  
 adj. R-square = 0,99995  
 $y = A1 * \exp(x/t1) + y0$   
 $100 = 4,63037E-6 * \exp\left(\frac{x}{0,27976}\right) + 0,18978$   
 $99,81022 = 4,63037E-6 * \exp\left(\frac{x}{0,27976}\right)$   
 $\ln 2,16E+07 = \exp\left(\frac{x}{0,27976}\right)$   
 $16,88614436 = \frac{x}{0,27976}$   
 $x = 4,724067747$
4. Penurunan jumlah koloni bakteri paparan selama 20 menit.

residual sum of squares = 0,03808  
 adj. R-square = 0,9976  
 $y = A1 * \exp(x/t1) + y0$   
 $100 = 4,20963E-7 * \exp\left(\frac{x}{0,23815}\right) + 0,33536$   
 $99,66464 = 4,20963E-7 * \exp\left(\frac{x}{0,23815}\right)$   
 $\ln 2,37E+08 = \exp\left(\frac{x}{0,23815}\right)$   
 $19,28253184 = \frac{x}{0,23815}$   
 $x = 4,592134958$
5. Penurunan jumlah koloni bakteri paparan selama 25 menit.

residual sum of squares = 0,05904  
 adj. R-square = 0,99712  
 $y = A1 * \exp(x/t1) + y0$   
 $100 = 3,36775E-6 * \exp\left(\frac{x}{0,26922}\right) + 0,39796$   
 $99,60204 = 3,36775E-6 * \exp\left(\frac{x}{0,26922}\right)$   
 $\ln 2,96E+07 = \exp\left(\frac{x}{0,26922}\right)$   
 $17,20244834 = \frac{x}{0,26922}$   
 $x = 4,631243142$

## Lampiran 8.

### Perhitungan Hubungan Lama Paparan terhadap Penurunan Jumlah Rata-Rata Koloni Bakteri *Salmonella typhi*.

1. Penurunan jumlah koloni bakteri paparan sebesar 2,5 kV/cm.

$$\begin{aligned} \text{residual sum of squares} &= 4,62851\text{E-}4 \\ \text{adj. R-square} &= 0,95532 \\ y &= A1*\exp(x/t1) + y0 \\ 100 &= 1,28584*\exp\left(\frac{x}{157,25962}\right) + (-1,21996) \\ 101,21996 &= 1,28584*\exp\left(\frac{x}{157,25962}\right) \\ \ln 7,87\text{E+}01 &= \exp\left(\frac{x}{157,25962}\right) \\ 4,365883769 &= \frac{x}{157,25962} \\ x &= 686,5772225 \end{aligned}$$

2. Penurunan jumlah koloni bakteri paparan sebesar 3 kV/cm.

$$\begin{aligned} \text{residual sum of squares} &= 0,00104 \\ \text{adj. R-square} &= 0,98894 \\ y &= A1*\exp(x/t1) + y0 \\ 100 &= 0,07833*\exp\left(\frac{x}{11,71738}\right) + 0,16222 \\ 99,83778 &= 0,07833*\exp\left(\frac{x}{11,71738}\right) \\ \ln 1,27\text{E+}03 &= \exp\left(\frac{x}{11,71738}\right) \\ 7,150371276 &= \frac{x}{11,71738} \\ x &= 83,78361739 \end{aligned}$$

3. Penurunan jumlah koloni bakteri paparan sebesar 3,5 kV/cm.

$$\begin{aligned} \text{residual sum of squares} &= 0,0671 \\ \text{adj. R-square} &= 0,41804 \\ y &= A1*\exp(x/t1) + y0 \\ 100 &= 0,10444*\exp\left(\frac{x}{11,30868}\right) + 0,85217 \\ 99,14783 &= 0,10444*\exp\left(\frac{x}{11,30868}\right) \\ \ln 9,49\text{E+}02 &= \exp\left(\frac{x}{11,30868}\right) \\ 6,855754504 &= \frac{x}{11,30868} \\ x &= 77,52953384 \end{aligned}$$

4. Penurunan jumlah koloni bakteri paparan sebesar 4 kV/cm.

$$\begin{aligned} \text{residual sum of squares} &= 4,43733\text{E-}4 \\ \text{adj. R-square} &= 0,99974 \\ y &= A1*\exp(x/t1) + y0 \\ 100 &= 1,14006*\exp\left(\frac{x}{16,77613}\right) + 4,88698 \\ 95,11302 &= 1,14006*\exp\left(\frac{x}{16,77613}\right) \\ \ln 8,34\text{E+}01 &= \exp\left(\frac{x}{16,77613}\right) \\ 4,423984976 &= \frac{x}{16,77613} \\ x &= 74,2173470 \end{aligned}$$

## Lampiran 9.

Alat dan Bahan Penelitian.



Cawan petri, botol flakon,  
*blue tip* yg telah di sterilisasi



Medan Listrik



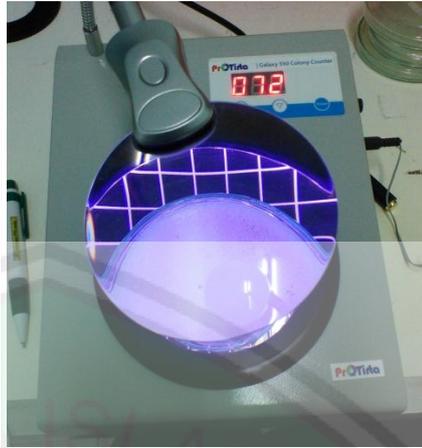
Inkubator



Autoklaf



Susu sapi murni



Colony counter



Hydrometer alkohol

## Lampiran 10.

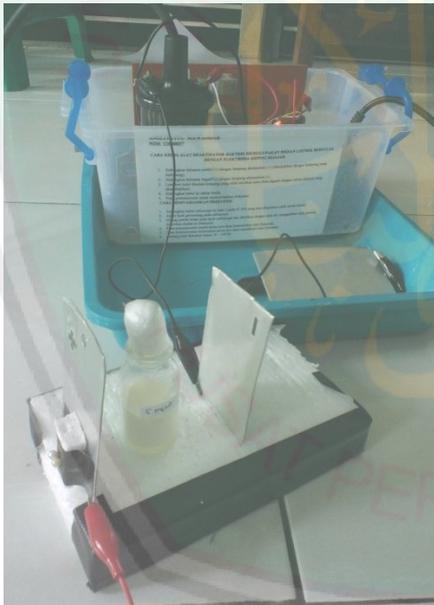
Proses Pengambilan Data.



Pencampuran susu dengan bakteri *Salmonella typhi*



Pengembangbiakan bakteri *Salmonella typhi* pada susu sapi di dalam inkubator



Pemaparan susu berisi bakteri



Proses pengenceran



Hasil pengenceran



Pengembangbiakan bakteri



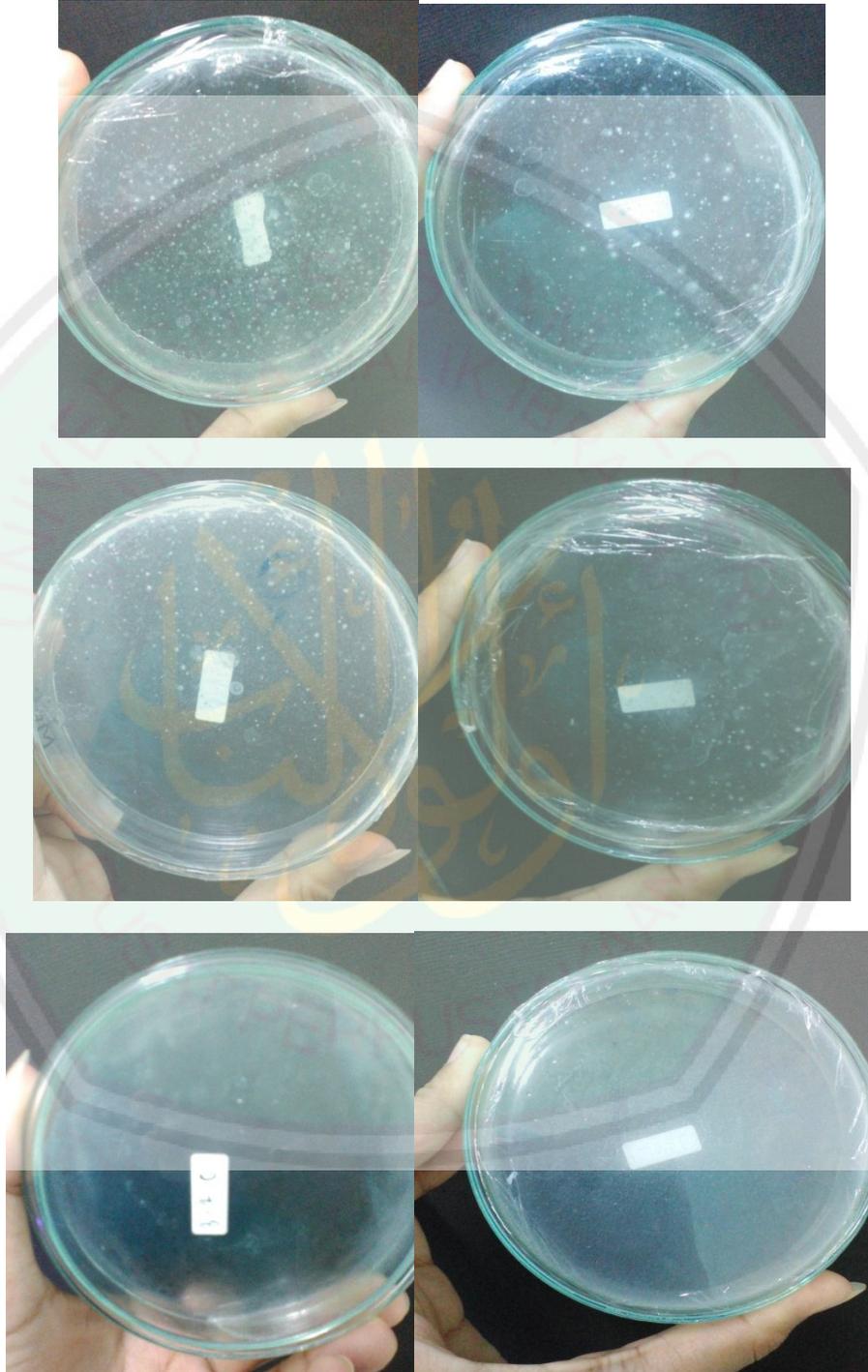
Penghitungan koloni bakteri *Salmonella typhi*



Koloni bakteri

**Lampiran 11.**

Hasil Perkembangan Bakteri *Salmonella typhi* yang Terpapar Medan Listrik.



Gambar koloni bakteri *Salmonella typhi* setelah dipapari medan listrik.



Bentuk fisik susu setelah penambahan masa  
simpan ruangan selama 4jam, 8 jam dan 12 jam

