

**PENGARUH MEDAN LISTRIK BERPULSA UNTUK
MENGHAMBAT PERTUMBUHAN BAKTERI *Staphylococcus
aureus* PADA SUSU SAPI**

SKRIPSI

Oleh:

MEYLDHA LUKKYANA SARI

NIM. 13640061



**JURUSAN FISIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM
MALANG
2018**

**PENGARUH MEDAN LISTRIK BERPULSA UNTUK
MENGHAMBAT PERTUMBUHAN BAKTERI *Staphylococcus
aureus* PADA SUSU SAPI**

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:

**MEYLDHA LUKKYANA SARI
NIM. 13640061**

**JURUSAN FISIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM
MALANG
2018**

HALAMAN PERSETUJUAN

**PENGARUH MEDAN LISTRIK BERPULSA UNTUK
MENGHAMBAT PERTUMBUHAN BAKTERI *Staphylococcus
aureus* PADA SUSU SAPI**

SKRIPSI

Oleh:

Meyldha Lukkyana Sari
NIM. 13640061

Telah Diperiksa dan Disetujui untuk Diuji,
Tanggal: 23 Oktober 2018

Pembimbing I,

Pembimbing II,



Dr. Mokhammad Tirono, M.Si
NIP. 19641211 199111 1 001



Erika Rani, M.Si
NIP. 19810613 200604 2 002

Mengetahui,
Ketua Jurusan Fisika



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

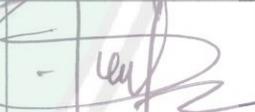
HALAMAN PENGESAHAN

**PENGARUH MEDAN LISTRIK BERPULSA UNTUK
MENGHAMBAT PERTUMBUHAN BAKTERI *Staphylococcus
aureus* PADA SUSU SAPI**

SKRIPSI

Oleh:
Meyldha Lukkyana Sari
NIM. 13640061

Telah Dipertahankan di Depan Dewan Penguji Skripsi dan
Dinyatakan Diterima Sebagai Salah Satu Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Sains (S.Si)
Tanggal: 29 November 2018

Penguji Utama	:	<u>Erna Hastuti, M.Si</u> NIP. 19811119 200801 2 009	
Ketua Penguji	:	<u>Khusnul Yakin, M.Si</u> NIDT. 19910103 20160801 1 073	
Sekretaris Penguji	:	<u>Dr. Mokhammad Tirono, M.Si</u> NIP. 19641211 199111 1 001	
Anggota Penguji	:	<u>Erika Rani, M.Si</u> NIP. 19810613 200604 2 002	

Mengetahui,
Ketua Jurusan Fisika




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

HALAMAN PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

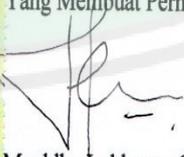
Nama : Meyldha Lukkyana Sari
NIM : 13640061
Jurusan : Fisika
Fakultas : Sains dan Teknologi
Judul Penelitian : Pengaruh Medan Listrik Berpulsa Untuk Menghambat
Pertumbuhan Bakteri *Staphylococcus aureus* Pada Susu
Sapi

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 mempertanggung jawabkan, serta diproses sesuai peraturan yang berlaku.

Malang, 29 November 2018
Yang Membuat Pernyataan,




Meyldha Lukkyana Sari
NIM. 13640061

MOTTO

“Kesuksesan hanya dapat diraih dengan segala upaya dan usaha yang disertai dengan doa, karena sesungguhnya nasib seseorang manusia tidak akan berubah dengan sendirinya tanpa berusaha”

“Never underestimate yourself. If you are unhappy with your life, fix what’s wrong, and keep stepping”

“Barang siapa menempuh sebuah jalan untuk menuntut ilmu maka Allah akan memudahkan untuknya jalan menuju surga” (HR. Muslim No.2699)



HALAMAN PERSEMBAHAN

Maha Pengasih dan Penyayang, Allah SWT yang telah mempermudah dan memperlancar jalannya proses pembuatan skripsi.

Nabi Muhammad SWT yang selalu dirindukan umat Muslim diseluruh Dunia, lantunan sholawat selalu menemani dan menenangkan hati dan pikiran dalam proses pembuatan skripsi.

Dukungan kedua orang tua tercinta serta kedua orang tua Mas Wahyu Budi Setiyawan, S.Kom., M.Kom, dan bapak Dr. H. Mokhammad Tirono, M.Si selaku pembimbing saya, yang menjadi penyemangat selama ini Mas Wahyu Budi Setiyawan, S.Kom., M., M.Kom, Mbak kandung saya Evvin Farista Sari Str, Keb, Mas ipar saya Moh. Miftakhur Rokhman, S.Kom., M.Kom serta sahabatku Fitria Nur Cahyani S.Si, Diana Muflikhatun Nihaya, S.E dan yang terakhir Citra Oktavidiana Sakti S.Si yang menjadi hariku tetap kuat dan tertawa.

KATA PENGANTAR



Alhamdulillahil'ahirabbil'aalamiin, segala puji bagi Allah SWT yang senantiasa memberikan taufik, rahmat, dan hidayah-Nya pada kehidupan manusia, khususnya kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan penyusunan skripsi dengan judul “Pengaruh medan listrik berpulsa untuk menghambat pertumbuhan bakteri *staphylococcus aureus* pada susu sapi segar” sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains (S.Si). Shalawat serta salam semoga tetap terlimpahkan kepada Nabi Muhammad SAW, keluarga, sahabat serta pengikutnya sebagai penuntun umat seluruh alam kepada cahaya ilmu.

Kepada banyak pihak yang telah berpartisipasi dan membantu dalam menyelesaikan penulisan skripsi ini. Dengan ketulusan hati, iringan do'a, dan ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada:

1. Prof. 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 Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
4. Dr. H. Mokhammad Tirono, M.Si selaku Dosen Pembimbing Fisika yang dengan sabar senantiasa membimbing dan mengarahkan penulisan skripsi ini.
5. Seluruh Dosen Fisika yang telah banyak memberikan ilmu pengetahuan dan informasi yang berhubungan dengan penulisan skripsi ini.
6. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu, yang telah banyak membantu dalam penulisan skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu, kritik dan saran yang sifatnya membangun sangat diperlukan untuk menyempurnakan penulisan ini sehingga dapat bermanfaat untuk pengembangan ilmu pengetahuan.

Malang, 25 November 2018

Penulis



DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGAJUAN	ii
HALAMAN PERSETUJUAN	iii
HALAMAN PENGESAHAN	iv
HALAMAN PERNYATAAN	v
MOTTO	vi
HALAMAN PERSEMBAHAN	vii
KATA PENGANTAR	viii
DAFTAR ISI	x
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
ABSTRAK	xv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	6
1.3 Tujuan	6
1.4 Batasan Masalah	7
1.5 Manfaat	7
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	9
2.1 Medan Listrik	9
2.1.1 Pembangkit Medan Listrik Pada Plat Sejajar	11
2.1.2 Polarisasi dan Pergeseraan Listrik Bahan Dielektrik	13
2.1.3 Potensial Transmembran Pada Bakteri	16
2.1.4 Interaksi Medan Listrik dengan Bakteri	17
2.1.5 Energi Diantara Dua Plat Sejajar	19
2.2 Efek Biologis Bakteri yang dipapari Medan Listrik	21
2.3 Bakteri <i>Staphylococcus aureus</i>	26
2.4 Susu	28
2.4.1 Komposisi Susu	30
2.4.2 Lemak Susu	31
BAB III METODE PENELITIAN	33
3.1 Jenis Penelitian	33
3.2 Waktu dan Tempat Penelitian	33
3.3 Alat dan Bahan	33
3.3.1 Alat	33
3.3.2 Bahan	35
3.3.3 Bahan dan Peralatan Uji Kadar Lemak	35
3.4 Desain Rangkaian Alat	35
3.5 Rancangan Penelitian	37
3.6 Langkah-langkah Penelitian	38
3.6.1 Penumbuhan Bakteri	38
3.6.2 Penumbuhan Bakteri Pada Susu	39
3.6.3 Paparan Medan Listrik	39
3.6.4 Perhitungan Bakteri	40

3.7 Uji Kadar Lemak.....	41
3.8 Pengambilan Data	42
3.9 Teknik Pengumpulan Data.....	43
3.10 Teknik Analisis Data.....	43
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	44
4.1 Analisis Hasil Penelitian	44
4.1.1 Pengaruh Paparan Medan Listrik terhadap Jumlah Bakteri.....	45
4.1.2 Pengaruh Lama Paparan terhadap Penurunan Jumlah Bakteri <i>Staphylococcus aureus</i>	48
4.1.3 Pengaruh Paparan Medan Listrik terhadap Kadar Lemak.....	51
4.2 Pembahasan Hasil Penelitian	53
4.3 Kajian Integrasi Pengaruh Medan Listrik dan Lama Paparan terhadap Penurunan Bakteri <i>Staphylococcus aureus</i> pada Susu Sapi.....	56
BAB V PENUTUP	60
5.1 Kesimpulan	60
5.2 Saran	61
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Arah Garis Gaya Medan Listrik pada Plat Sejajar	10
Gambar 2.2 Kapasitor Plat Sejajar dan Tanpa Dielektrik	14
Gambar 2.3 Plat Sejajar Bermuatan	19
Gambar 2.4 Diagram Perusakan Membran Sel.....	23
Gambar 2.5 Elektroporasi Membran Sel.....	24
Gambar 2.6 Kisaran Parameter untuk Aplikasi <i>Bioelectric</i> (Medan Listrik E- Panjang Pulsa T)	25
Gambar 2.7 Bakteri <i>Staphylococcus aureus</i>	27
Gambar 3.1 Ruang Perlakuan PEF.....	36
Gambar 3.2 Perancangan Alat Secara Keseluruhan.....	36
Gambar 3.3 Alur Rancangan Penelitian.....	39
Gambar 4.1 Grafik Pengaruh Medan Listrik terhadap Penurunan Jumlah Koloni Bakteri <i>Staphylococcus aureus</i>	47
Gambar 4.2 Grafik Penurunan Jumlah Koloni Bakteri <i>Staphylococcus aureus</i> setelah dipapari Medan Listrik (2-4 kV/cm) dengan Lama Paparan 25 menit	48
Gambar 4.3 Grafik Pengaruh Lama Paparan terhadap Penurunan Jumlah Koloni Bakteri <i>Staphylococcus aureus</i>	50
Gambar 4.4 Grafik Penurunan Jumlah Koloni Bakteri <i>Staphylococcus aureus</i> setelah diberikan Perlakuan Lama Paparan dengan Medan Listrik 2-4 kV/cm	51
Gambar 4.5 Grafik Presentase Kadar Lemak setelah dipaparkan dengan Medan Listrik selama 25 menit dengan Suhu 30°C	52

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Komposisi Susu dan Hasil Olahannya	30
Tabel 3.1	Data Hasil Pengamatan	43
Tabel 4.1	Data Pengaruh Medan Listrik terhadap Penurunan Jumlah bakteri <i>Staphylococcus aureus</i> Pada Susu Sapi	45
Tabel 4.2	Data Pengaruh Lama Paparan terhadap Penurunan Jumlah Bakteri <i>Staphylococcus aureus</i> Pada Susu Sapi	49
Tabel 4.3	Data Pengaruh Medan Listrik terhadap Kadar Lemak Susu Sapi	51



DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1 Jumlah Koloni Bakteri *Staphylococcus aureus*
- Lampiran 2 Jumlah Penurunan Bakteri *Staphylococcus aureus*
- Lampiran 3 Rangkaian Alat Medan Listrik Berpulsa
- Lampiran 4 Laporan Hasil Uji Kadar Lemak



ABSTRAK

Sari, Meyldha Lukkyana. 2018. **Pengaruh Medan Listrik Berpulsa Untuk Menghambat Pertumbuhan Bakteri *Staphylococcus aureus* Pada Susu Sapi.** Skripsi. Jurusan Fisika. Fakultas Sains dan Teknologi. Universitas Islam Negeri (UIN) Maulana Malik Ibrahim Malang. Pembimbing: (I) Dr. H. Mokhammad Tirono M.Si (II) Erika Rani M.Si.

Kata Kunci : Medan Listrik, *S. aureus*, Susu Sapi.

S.aureus adalah salah satu jenis bakteri yang sering mengkontaminasi susu sapi. Keberadaannya bisa menurunkan kualitas susu sapi dan menyebabkan berbagai penyakit bagi yang mengkonsumsinya. Salah satu metode inaktivasi bakteri adalah dengan menggunakan medan listrik yang mana metode ini digunakan pada penelitian ini. Adapun tujuan untuk mengetahui pengaruh medan listrik untuk menginaktivasi bakteri *S. aureus* dan pengaruhnya pada kadar lemak susu sapi. Penelitian dilakukan dengan memvariasikan medan listrik 2-4 kV/cm dengan lama paparan 5-25 menit. Susu sapi yang sudah diapari medan listrik tersebut selain dihitung jumlah bakteri, juga diuji untuk kadar lemaknya. Hasil data dan analisis menunjukkan bahwa untuk menurunkan jumlah bakteri sebesar log -10 dibutuhkan medan listrik sebesar 4.44 kV/cm dengan lama paparan 25 menit. Sementara itu, hasil paparan kuat medan 4 kV/cm menunjukkan terjadi penurunan jumlah bakteri sebesar log -10 dengan lama paparan 49.39 menit. Semakin besar kuat medan listrik dan lama paparan maka semakin signifikan penurunan jumlah bakteri. Sementara itu paparan medan listrik 4 kV/cm dengan lama paparan 25 menit juga dapat menyebabkan menurunnya kadar lemak sebesar 3.29 %. Dengan demikian dapat diambil kesimpulan, disamping mampu membunuh bakteri, medan listrik juga dapat menurunkan kadar lemak.

ABSTRACT

Sari, Meyldha Lukkyana. 2018. The Influence of electric electricity Field in inhibiting the Staphylococcus aureus Bacterial Growth in Cow Milk. thesis. Physics department. Faculty of Science and Technology. The State Islamic University of Maulana Malik Ibrahim of Malang. Supervisor: (I) Dr. H. Mokhammad Tirono M.Sc. (II) Erika Rani M.Sc.

Keywords: Electric Field, *S. aureus*, Cow Milk.

S.aureus is the type of bacteria that often contaminates the cow milk. Its existence can reduce the quality of cow milk and cause various diseases. One of the methods of bacterial inactivation is using an electric field where this method was conducted in the research. The purpose of the study is to determine the influence of the electric field to inactivate the *S. aureus* bacteria and its effect on the fat content of cow milk. The study was conducted by varying the electric field from 2-4 kV/cm with a length of exposure of 5-25 minutes. Cow milk flanked by the electric field applied in counting the number of bacteria and examining its fat content. The results of the data and analysis showed that to reduce the number of bacteria by logs -10 were needed the electric field of 4.44 kV/cm with a duration of 25 minutes. Meanwhile, the results of field strength exposure of 4 kV/cm showed a decrease in the number of bacteria by log -10 with the exposure time of 49.39 minutes. The greater of the electric field strength and duration of exposure will be more significant in the decrease in the number of bacteria. Moreover, the electric field exposure of 4 kV/cm with a length of exposure of 25 minutes can also cause a reduction in fat content of 3.29%. Overall, the electric field with a specific strength can inhibit bacteria growth and reduce fat levels.

ملخص

ساري ميلدا لوكيانا . ٨١٠٢. تأثير حقول الكهرباء لعبة تلبيس إلى يعيق نمو جرثوم المکورات العنقودية الذهبية في حليب بقرة. بحث علمي. قسم الفيزياء ، كلية العلوم والتكنولوجيا، جامعة مولانا مالك إبراهيم الإسلامية الحكومية، ملانج المستشار: (الأول) د. الحاج محمد تيرونو الماجستير. (الثاني) ارنا هاستوتي الماجستير

كلمات البحث: حقول الكهرباء ، المکورات العنقودية الذهبية ، حليب بقرة .

الذهبية هو احد نوع البكتيريا التي غالبا ما تلوث الحليب بقرة . يمكن أن يقلل وجوده من جودة حليب البقر ويسبب أمراضًا مختلفة لأولئك الذين يستهلكونه. وقد أجريت عدة دراسات لإبطال نشاط هذه البكتيريا ، واحدة منها تستخدم مجالاً كهربائياً. هذا البحث يهدف إلى تحديد تأثير الحقول الكهربائية لتعطيل البكتيريا. الذهبية وتأثيرها على محتوى الدهون في حليب البقر. هذا البحث يؤديها متفوتة الكهربائية الحقل ٢-٤ كيلو فولت / سم ٥ - ٢٥ دقيقة من وقت التعرض . يتم اختبار حليب البقر الذي تم تطويره مع الحقل الكهربائي بالإضافة إلى عدد البكتيريا المحتسبة من محتوى الدهون . نتائج داتا و تحليل عرض أن إلى أدنى عدد البكتيريا في -٠١ سجل المطلوبة الحقل الكه بائي في ٤٤:٠٤ كيلو فولت / سم مع التعرض لفترة طويلة لمدة ٢٥ دقيقة. وفي الوقت نفسه، أظهر أسيل ع ح حقل المجاعة قوة ٤ كيلو فول / سم انخفاضا في عدد البكتيريا عن طريق -٠١ سجل التعرض الطويل دايت ٩٤.٩٣ دقيقة الحصول على المزيد عظيم قوي أرض ل طق الحيل والسلطة الفلسطينية مجاعة طويلة م الملقب أكثر أهمية الانخفاض عدد خباز أنا . وفي الوقت نفسه ، التطبيق أرض كهرباء ٤ كيلو فولت / سم مع ع القديم مجاعة ٢٥ دقيقة يمكن أن يسبب أيضا انخفاض محتوى دهن في ٣: ٢٩٪. لذلك يمكن الاستنتاج ، بالإضافة إلى قدرتك على قتل البكتيريا، إنه جنون كهرباء أيضا ضبار أدنى محتوى الدهون.

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Susu merupakan produk pangan sehari-hari yang memiliki manfaat bagi tubuh manusia. Susu mengandung banyak sekali mineral seperti vitamin B12, lemak, protein, kalsium, karbohidrat, magnesium, fosfor, kalium dan lain-lain. Pada proses pengolahan, penyajian dan penyimpanan susu yang kurang baik akan memberikan efek bagi kesehatan tubuh manusia. Hal ini dikarenakan susu digolongkan ke dalam kelompok minuman yang mempunyai tingkat keasaman yang rendah.

Mikoorganisme yang sering merusak susu adalah bakteri baik dari golongan Gram positif dan dari golongan Gram negatif. Beberapa jenis bakteri pathogen yang berhasil diidentifikasi pada susu sapi segar dapat menyebabkan gangguan kesehatan seperti keracunan atau kematian. Bakteri patogen pada dasarnya dibagi menjadi dua kelompok utama, yaitu penyebab infeksi dan penyebab intoksikasi. Bakteri penyebab infeksi pada umumnya menyebabkan penyakit karena dapat menghasilkan racun di dalam tubuh. Golongan bakteri patogen adalah bakteri *C. jejuni*, *L. monocytogenes*, *E. coli*, dan *Salmonella spp* (Chye, 2004). Sementara bakteri penyebab intoksikasi adalah bakteri yang menghasilkan racun pada saat bermultiplikasi dibahan pangan. Racun yang dihasilkan oleh bakteri dapat menyebabkan sakit ketika bahan pangan dikonsumsi oleh manusia adalah jenis bakteri *B. cereus*, *S. aureus* dan *C. botulinum* (Balía, 2008).

Berdasarkan Standart Nasional Indonesia (SNI) No. 01-3141-1998 tentang Syarat Mutu Susu Segar dan SNI No. 7388:2009 tentang Batas Maksimum Cemaran Mikroba dalam Pangan merupakan upaya Pemerintah untuk melindungi konsumen dari dampak bakteri patogenik pada susu yang dapat mengakibatkan gangguan kesehatan, di dalamnya juga membahas tentang total bakteri/mikroba maksimum (Total Plate Count/TPC) (1×10^6 CFU/ml). Angka paling mungkin (Most Probable Number/MPN) *Esherichia coli* <3 /ml, *Staphylococcus aureus* 1×10^2 /ml, Pengujian pencemaran bakteri dalam susu segar digunakan sebagai indikator sanitasi dalam proses produksi dan keamanan susu (BSN, 1998).

Staphylococcus aureus merupakan bakteri patogen karena mempunyai kemampuan membentuk enteroksin yang dapat menimbulkan keracunan pada makanan. Salah satunya makanan yang dapat dengan mudah terkontaminasi oleh *staphylococcus aureus* adalah susu. *Staphylococcus aureus* diketahui dapat hidup pada tubuh manusia, oleh sebab itu susu yang dalam penanganannya yang tidak dilakukan dengan baik dapat memberikan kesempatan bagi *staphylococcus aureus* untuk tumbuh dan menghasilkan enterotoksin. Kontaminasi *staphylococcus aureus* pada susu dapat disebabkan oleh kurang terjaganya kebersihan selama proses pemerahan susu sapi.

Proses pengolahan susu menggunakan dua metode yaitu pengolahan *thermal* dan pengolahan *non thermal*. Proses pengolahan *thermal* meliputi *thermal processing*, *Ultra High Temperatur (UHT)*, *frying*, *microwave*, *radio frequency*, *infrared*, *drying*, *freezing*. Pengolahan *non thermal* meliputi *high hydrostatic pressure (HHP)*, *pulsed electric field (PEF)*, *ultrasonic*, *irradiation*, *electron beam*, *oscillating magnetic field (OMF)*.

Teknik pengolahan termal adalah proses pengawetan yang menggunakan energi panas. Tujuan utama proses termal adalah mematikan mikroorganisme yang dapat menyebabkan penyakit dan menimbulkan kebusukan pada produk yang dikemas dengan kemasan yang hermetis, seperti kaleng, *retort pouch*, atau gelas jar. Proses termal merupakan salah satu proses penting dalam pengawetan pangan untuk mendapatkan produk dengan umur simpan yang panjang. Proses pengolahan secara *thermal* memiliki beberapa kelemahan diantaranya penurunan kualitas keseluruhan makanan, menghancurkan beberapa vitamin, pigmen, dan denaturasi dari beberapa protein (Bermudez, 2010). Pengolahan secara *thermal* ini dapat mengubah bau, rasa, warna, dan mengurangi kandungan nutrisi dari susu terutama protein dan vitamin yang merupakan zat tidak tahan panas (Eckless, 1951). Penurunan kandungan nutrisi susu ini tentunya akan merugikan para konsumen susu. Oleh karena itu, pengolahan susu *non-thermal* perlu dikembangkan dan metode *non thermal* paling efektif dalam menurunkan jumlah bakteri pembusuk dalam susu adalah metode *High Pulsed Electric Field* (HPEF) (Judkins, 1996). Penggunaan ini lebih sedikit mengubah rasa, warna, bau, dan kandungan nutrisi dalam susu dibandingkan dengan metode *thermal* (Susilorini, 2006).

Pasteurisasi merupakan salah satu cara pengawetan susu melalui pemanasan pada suhu tertentu di bawah titik didih susu dengan suhu 30°C. Akan tetapi pemanasan susu di bawah titik didih menyebabkan susu pasteurisasi belum bebas dari sejumlah mikroorganisme. Pemanasan pada proses pasteurisasi susu dapat menjadi kritis untuk perkembangan mikroorganisme yang tahan terhadap suhu tinggi. Proses dengan metode pemanasan, seperti pasteurisasi umumnya

digunakan pada industri makanan cair untuk menjaga daya tahan makanan dan menjaga makanan cair tetap aman dari pembusukan dan dari mikroorganisme. Walaupun metode dengan proses pemanasan menjadikan makanan tetap aman, tetapi tidak terhadap rasa, warna, aroma dan nutrisi yang terkandung dalam makanan. Dengan meningkatnya permintaan konsumen untuk makanan cair walaupun makanan cair diproduksi dengan suatu proses tertentu, yaitu menggunakan pengawetan makanan cair dengan proses tanpa pemanasan atau *non thermal processes*.

Dari al-Qur'an secara tersirat Allah SWT telah mengingatkan kita agar selalu memperhatikan makanan. Firman Allah dalam dalam Q.S. Abasa (80) ayat 24:

فَلْيَنْظُرِ الْإِنْسَانُ إِلَى طَعَامِهِ ۚ ﴿٢٤﴾

“Maka hendaklah manusia itu memperhatikan makanannya (Q.S. Abasa: 24).”

Ayat al-Qur'an di atas memerintahkan manusia agar selalu memperhatikan makanan yang dikonsumsinya. Dengan demikian manusia harus memperhatikan bahwa makanannya harus bersih, sehat, bisa dikonsumsi dan halal. Sebagaimana dalam firman Allah SWT pada Surat al-Maidah ayat 88 yang berbunyi:

وَكُلُوا مِمَّا رَزَقَكُمُ اللَّهُ حَلالًا طَيِّبًا وَاتَّقُوا اللَّهَ الَّذِي أَنْتُمْ بِهِء مُؤْمِنُونَ ۚ ﴿٨٨﴾

“Dan makanlah makanan yang halal lagi baik dari apa yang Allah telah rezezikikan kepadamu, dan bertakwalah kepada Allah yang kamu beriman kepada-Nya (Q.S. al- Maidah: 88).”

Ayat al-Qur'an di atas memerintahkan manusia agar selalu memperhatikan makanan yang dikonsumsinya. Dengan demikian manusia harus memperhatikan

bahwa makanan harus bersih, sehat dan halal serta baik melalui sanitasi yang benar terhadap makanan (Chandra, 2006). Sanitasi ini dilakukan sebagai upaya pencegahan terhadap kemungkinan bertumbuh dan berkembang biaknya jasad renik pembusuk dan patogen dalam makanan yang dapat merusak makanan dan membahayakan kesehatan manusia.

Penelitian yang dilakukan oleh Chye, (2004). tentang "*Effect of electrical energy on the efficacy treatment using bioelectric effect*" penelitian ini menggunakan bakteri yang sudah membentuk biofilm, kemudian bakteri tersebut dialiri arus listrik yang bervariasi yakni dengan arus AC, DC dan SP (*Super Postioned*), dimana SP adalah hasil perpaduan arus AC dan DC yang direaksikan masing-masing variasi arus (AC, DC dan SP) pada BE (*Bioelectric Effect*), hasil tersebut kemudian dibandingkan keefektifannya dalam menginaktivasi bakteri *Electrichia coli*. Penelitian yang sama dilakukan oleh Chandra (2006) pada thesisnya "*Electrical inactivation of bacteria in bavarags*" penelitian menggunakan beberapa jenis sampel minimum (air baku, air yang diolah dan air laut) dan beberapa jenis bakteri antara lain *Pseudmonas*, *Echerichia coli* dan *Staphylococcus aureus* dengan hasil inaktivasi yang cukup signifikan yakni pada air laut dengan menggunakan arus sebesar 0,6 A dan dalam waktu 6 menit, inaktivasi bakteri *Staphylococcus aureus* mencapai 100%, pada bakteri *Pseudomonas* mencapai 93% dan pada bakteri *Echerichia coli* sebesar 92%. Hal ini menunjukkan arus listrik efektif dalam menginaktivasi bakteri pada minuman.

Berdasarkan penjelasan di atas, dilakukan penelitian tentang pengaruh paparan medan listrik berpulsa untuk menghambat pertumbuhan bakteri *Saphylococcus aureus* pada susu sapi segar sebagai upaya untuk sanitasi makanan

cair sekaligus pengawetan sumber pangan. Penelitian ini mempunyai kelebihan yang berbeda dengan penelitian sebelumnya dimana dengan menurunkan medan listrik dan waktunya di perpanjang lebih lama. Sehingga diperlukan teknik pengolahan susu yang efektif dan relatif murah.

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana pengaruh medan listrik berpulsa terhadap jumlah bakteri *Staphylococcus aureus* pada susu sapi?
2. Bagaimana pengaruh waktu pemaparan terhadap jumlah bakteri *Staphylococcus aureus* pada susu sapi?
3. Bagaimana pengaruh medan listrik berpulsa terhadap kadar lemak susu sapi?

1.3 Tujuan

Adapun tujuan yang dapat diperoleh adalah:

1. Untuk mengetahui pengaruh medan listrik berpulsa terhadap jumlah bakteri *Staphylococcus aureus* pada susu sapi.
2. Untuk mengetahui pengaruh waktu pemaparan terhadap jumlah bakteri *Staphylococcus aureus* pada susu sapi.
3. Untuk mengetahui pengaruh medan listrik berpulsa terhadap kadar lemak susu sapi.

1.4 Batasan Masalah

1. Penelitian ini menggunakan salah satu bakteri yang biasa terdapat pada susu yakni bakteri *Staphylococcus aureus*.

2. *Staphylococcus aureus* diambil dari Laboratorium FMIPA Universitas Negeri Malang.
3. Penelitian yang dilakukan adalah menghitung jumlah koloni bakteri sesudah pemaparan medan listrik.
4. Susu yang digunakan merupakan susu sapi segar tanpa campuran apapun dengan melalui proses sterilisasi untuk mematikan bakteri pada susu sebelum proses pengujian.
5. Medan listrik yang diberikan antara 2-4 kV/cm.
6. Susu yang digunakan dalam penelitian ini merupakan susu sapi hasil perahan pagi hari dipeternak sapi karangploso.
7. Uji yang digunakan pada penelitian ini yaitu uji kadar lemak.
8. Sampel diuji tiap jam 10 pagi.
9. Susu yang digunakan merupakan susu yang telah dihomogenkan.

1.5 Manfaat

1. Jumlah koloni bakteri *Staphylococcus aureus* yang dapat menginfeksi sistem kekebalan tubuh manusia dapat berkurang sehingga susu dan makanan yang berbahan dasar susu aman untuk dikonsumsi.
2. Menambah daya simpan susu tanpa menggunakan metode pasteurasi dengan waktu tertentu dan tanpa menggunakan lemari pendingin sehingga dapat menghemat energi (sebagai pengganti refrigerator).

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Medan Listrik

Medan listrik merupakan daerah atau ruang di sekitar benda yang bermuatan listrik, dimana jika sebuah benda bermuatan lainnya diletakkan pada daerah masih mengalami gaya elektrostatis. Medan listrik pada muatan uji q didefinisikan sebagai gaya listrik pada muatan per besarnya muatan tersebut, $E=F/q$, dimana E adalah medan listrik, F adalah gaya listrik, dan q adalah muatan listrik. Jika sumber bermuatan positif, maka arah medan listrik adalah keluar muatan dan jika muatan sumber negatif, maka arah medan listrik masuk menuju muatan. Andaikan ada sebuah muatan titik Q , maka besar medan listrik di titik yang berjarak r dari muatan titik Q adalah $E = k \frac{Q}{r^2}$.

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

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

Dan orang-orang yang kafir berkata: "Hari berbangkit itu tidak akan datang kepada kami". Katakanlah: "Pasti datang, demi Tuhanku yang mengetahui yang ghaib, Sesungguhnya kiamat itu pasti akan datang kepadamu. tidak ada tersembunyi daripadanya sebesar zarahpun yang ada di langit dan yang ada di bumi dan tidak ada (pula) yang lebih kecil dari itu dan yang lebih besar, melainkan tersebut dalam kitab yang nyata (Lauh Mahfuzh)" (Q.S. As-Saba' (34): 3).

Menurut Al-Qurtubi bahwa sebesar dzarrah artinya sebesar semut kecil. Maksudnya walaupun seberat dzarrah, baik yang berada di langit maupun di bumi, bahkan yang lebih kecil dari itu dan tidak lebih besar darinya, melainkan

disebutkan dalam kitab yang nyata yaitu Lauh Mahfuzh. Pada kitab tersebut, Allah mencatat segala kejadian alam, tidak ada gerakan dan diamnya sesuatu yang telah atau akan terjadi di alam ini. Hal itu yang telah terdapat gambaran dan waktunya di Lauh Mahfuzh (tafsir Al-Qur'an Al-Aisar: 34-35).

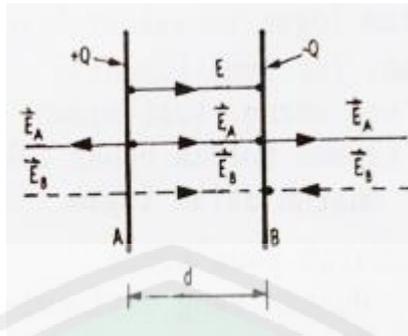
Allah SWT menjelaskan di Al-Qur'an pada Q.S. At-Taubah (9):61,

وَمِنْهُمْ الَّذِينَ يُؤْذُونَ النَّبِيَّ وَيَقُولُونَ هُوَ أُذُنٌ قُلْ أُذُنٌ خَيْرٌ لَّكُمْ يُؤْمِنُ بِاللَّهِ
 وَيُؤْمِنُ لِلْمُؤْمِنِينَ وَرَحْمَةٌ لِلَّذِينَ ءَامَنُوا مِنْكُمْ وَالَّذِينَ يُؤْذُونَ رَسُولَ اللَّهِ لَهُمْ
 عَذَابٌ أَلِيمٌ

"Di antara mereka (orang-orang munafik) ada yang menyakiti Nabi dan mengatakan: "Nabi mempercayai semua apa yang didengarnya." Katakanlah: "Ia mempercayai semua yang baik bagi kamu, ia beriman kepada Allah, mempercayai orang-orang mukmin, dan menjadi rahmat bagi orang-orang yang beriman di antara kamu." dan orang-orang yang menyakiti Rasulullah itu, bagi mereka azab yang pedih." (Q.S. At-Taubah (9):61).

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

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



Gambar 2.1 Arah Garis Gaya Medan Listrik Pada Plat Sejajar (Bueche, 1986).

Garis-garis medan listrik dapat digunakan untuk membuat sketsa medan-medan listrik. Garis yang melewati suatu titik, pada titik tersebut memiliki arah medan listrik. Ketika garis-garis medan paling berdekatan, maka medan listriknya paling besar. Garis-garis medan keluar dari muatan-muatan positif (karena muatan positif menolak muatan uji positif) dan menuju muatan-muatan negatif (karena mereka menarik muatan uji positif) (Bueche, 1986). Dalam Q.S. Yasin (36): 36,

سُبْحٰنَ الَّذِيْ خَلَقَ الْاَزْوَاجَ كُلَّهَا مِمَّا تُنْبِتُ الْاَرْضُ وَمِنْ اَنْفُسِهِمْ وَمِمَّا لَا
يَعْلَمُوْنَ

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

Menurut dari berbagai pendapat mengenai penafsiran ayat ini banyak yang beranggapan bahwa Allah menciptakan segala sesuatu dengan bermacam-macam bentuk. Namun, dari kata bermacam-macam pula dapat diartikan 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 kalimat maupun dari apa yang mereka tidak ketahui orang yaitu pasangan elektron dan positron. Positron ditulis dengan simbol e^+ dan elektron di tulis dengan 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.

2.1.1 Pembangkit Medan Listrik Pada Plat Sejajar

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

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

Disebelah kanan plat A kuat medan oleh plat A adalah $\vec{E}_A = +\hat{i} \frac{\sigma}{2\epsilon_0}$. Sedangkan disebelah kiri kuat medan $\vec{E}_A = -\hat{i} \frac{\sigma}{2\epsilon_0}$ (berarah ke kiri). Kuat medan oleh plat B disebelah kanan plat B adalah $\vec{E}_B = -\hat{i} \frac{\sigma}{2\epsilon_0}$ dan disebelah kiri $\vec{E}_B = +\hat{i} \frac{\sigma}{2\epsilon_0}$.

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

$$\vec{E} = \vec{E}_A + \vec{E}_B = -\hat{i} \frac{\sigma}{2\epsilon_0} + \hat{i} \frac{\sigma}{2\epsilon_0} = 0 \quad (2.1)$$

Di dalam plat sejajar, kuat medan adalah:

$$\vec{E} = \vec{E}_B + \vec{E}_A = +\frac{\sigma}{2\epsilon_0} + \frac{\sigma}{2\epsilon_0} = +\hat{i} \frac{\sigma}{\epsilon_0} \quad (2.2)$$

Disebelah kanan plat sejajar adalah:

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

$$E = \sigma/\epsilon_0 \quad (2.4)$$

Sehingga dapat diambil kesimpulan bahwa kuat medan di dalam plat sejajar adalah $E = \sigma/\epsilon_0$ dan di luar plat sejajar kuat medan sama dengan nol (Sutrisno, 1979).

Jika sebuah plat sejajar diisi dengan bahan dielektrik dan muatan Q pada kapasitor tidak berubah, maka nilai kapasitansinya adalah (Tipler, 1991):

$$C = \frac{Q}{V} = \frac{Q}{V_0/k} = k \frac{Q}{V_0} \quad (2.5)$$

Sehingga

$$k = \frac{C}{C_0} \quad (2.6)$$

Dengan C_0 adalah kapasitansi tanpa bahan dielektrik, yang mana kapasitansi tersebut akan meningkat sebesar k ketika bahan dielektrik mengisi penuh ruang antar keping. Untuk kapasitor keping sejajar yang diisi bahan dielektrik, kapasitansinya adalah:

$$C = k \frac{\epsilon_0 A}{d} \quad (2.7)$$

Dimana d adalah jarak antara plat dan A adalah luas plat (Giancoli, 2011).

Syarat Hubungan C_0 dan C harus sama adalah:

$$C = KC_0 \text{ karena } \epsilon = K\epsilon_0$$

Kapasitas kapasitor akan berubah harganya bila nilai K , A dan d diubah. Dalam hal ini C tidak tergantung Q dan V hanya merupakan perbandingan yang tetap saja. Artinya meskipun harga Q diubah, harga C tetap.

$$\frac{\epsilon_0 A}{d} = \frac{Q_0}{V_0} \quad (2.8)$$

$$Q_0 = \frac{V_0 \cdot \epsilon_0 A}{d} \quad (2.9)$$

$$\frac{Q}{A} = \frac{\epsilon_0 V_0}{d} \quad (2.10)$$

$$E = \frac{\epsilon_0 \cdot V_0}{d} \cdot \frac{V}{k} \quad (2.11)$$

$$E = \frac{\epsilon_0 \cdot V}{k \cdot d} \quad (2.12)$$

$$E = \frac{\Delta V}{k \cdot d} \quad (2.13)$$

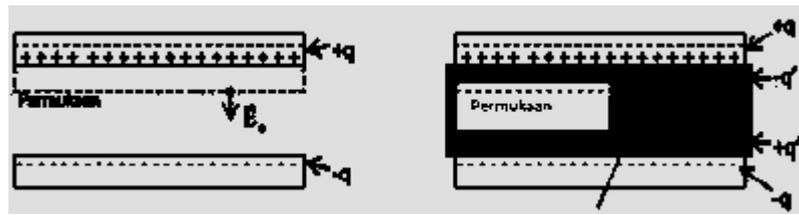
Persamaan di atas dapat disimpulkan bahwa ketika medan listrik diantara dua plat diberikan suatu bahan berupa susu maka diperoleh dielektrik susu yang dapat dituliskan persamaannya menjadi $E = \frac{\Delta V}{k \cdot d}$ dimana V dalam persamaan tersebut merupakan terjadinya perubahan beda potensial listrik serta hubungan antara medan listrik dengan konstanta dielektrik (Giancoli, 2011).

2.1.2 Polarisasi dan Pergeseran Listrik Bahan Dielektrik

Bahan dielektrik bukan bahan konduktif, bahan dielektrik tidak terdapat muatan bebas. Molekul polar pada dielektrik tersusun secara acak. Di dalam medan listrik, susunan molekul polar ini akan menyusun diri karena adanya gaya pada muatan-muatan (Kacaribu. R, 2011).

Molekul-molekul tersebut akan menjadi susunan dipol-dipol listrik yang teratur. Peristiwa ini dinamakan polarisasi. Dipol listrik adalah susunan dua muatan yang sama besarnya dengan tanda yang sama besarnya dengan tanda yang berbeda (Riske, 2005).

Gambar 2.2 memperlihatkan kapasitor plat sejajar dengan dan tanpa dielektrik. Dengan menganggap bahwa muatan q pada plat-plat yang sama.



Gambar 2.2 Kapasitor Plat Sejajar dan Tanpa Dielektrik (Azhar, 2011).

Jika tidak ada dielektrik maka dengan hukum Gauss akan diperoleh (Azhar, 2011):

$$\epsilon_0 \int \vec{E} \cdot d\vec{S} = \epsilon_0 E_0 A = q$$

atau

$$E_0 = \frac{q}{\epsilon_0 A} \quad (2.18)$$

Jika ada dielektrik maka dengan hukum Gauss akan diperoleh:

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

atau

$$E = \frac{q}{\epsilon_0 A} - \frac{q'}{\epsilon_0 A'} \quad (2.19)$$

Dimana q' adalah muatan permukaan imbas jadi harus dibedakan dari q sebagai muatan bebas pada plat. Kedua muatan ini terletak dalam permukaan Gauss. Selisih muatan ini ($q - q'$) adalah muatan netto di dalam permukaan Gauss. Pada gambar terlihat bahwa $A = A'$. Pada persamaan sebelumnya telah dituliskan:

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

Dengan memasukkan nilai E_0 pada persamaan 2.18 ke persamaan ini maka diperoleh:

$$E = \frac{q}{\epsilon_r \epsilon_0 A} \quad (2.20)$$

Dengan rumus baru ini maka persamaan 2.19 dapat dituliskan menjadi:

$$\frac{q}{\epsilon_r \epsilon_0 A} = \frac{q}{\epsilon_0 A} - \frac{q'}{\epsilon_0 A} \quad (2.21 \text{ a})$$

atau

$$q' = q \left(1 - \frac{1}{\epsilon_r}\right) \quad (2.21 \text{ b})$$

Persamaan (2.21 a) dapat pula dituliskan menjadi

$$\frac{q}{A} = \epsilon_0 \left(\frac{q}{\epsilon_r \epsilon_0 A} \right) - \frac{q'}{A} \quad (2.22)$$

Suku pertama merupakan kuantitas pergeseran listrik D atau,

$$D = \frac{q}{A} \quad (2.23)$$

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

Kuantitas ini dinamakan sebagai polarisasi listrik P atau

$$P = \frac{q'}{A} \quad (2.24)$$

Jika demikian persamaan 2.22 dapat dituliskan dalam bentuk

$$D = \epsilon_0 E - P \quad (2.25)$$

Atau dalam bentuk vektor dituliskan menjadi

$$\vec{D} = \epsilon_0 \vec{E} - \vec{P} \quad (2.26)$$

Dengan membandingkan persamaan 2.20 dengan persamaan 2.23 maka dapat dituliskan vektor pergeseran listrik sebagai fungsi dari medan listrik.

$$\vec{D} = \epsilon_r \epsilon_0 \vec{E} \quad (2.27)$$

Dengan mensubstitusikan persamaan 2.27 ke persamaan 2.26 maka dapat dituliskan pula pernyataan vektor polarisasi sebagai fungsi dari medan listrik yaitu:

$$\vec{P} = \varepsilon_0(\varepsilon_r - 1)\vec{E} \quad (2.28)$$

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 (2.21b) ke persamaan di atas maka diperoleh:

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

Atau dapat dituliskan menjadi

$$\int \vec{D} \cdot d\vec{S} = q \quad (2.29)$$

2.1.3 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 b , dengan paparan medan listrik luar, maka tegangan transmembran akan berubah. Besar tegangan transmembran akibat paparan medan listrik dc , oleh Maxwell dirumuskan (Valic B, 2003):

$$\Delta\phi_{memb} = 1,5aE_{app}\cos\theta \quad (2.30)$$

E_{app} adalah kuat medan yang dikenakan pada sel dalam *volt per sentimeter*, θ 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 τ , menurut Schwan secara teori dirumuskan dengan (Valic B, 2003):

$$\Delta\varphi_{memb} = 1,5 a E_{app} \cos\theta / (1 + (\omega\tau)^2)^{1/2} \quad (2.31)$$

Dimana:

$$\tau = aC_{memb}(\rho_{in} + \rho_{ext}/2) \quad (2.32)$$

Sedangkan $\omega = 2\pi f$ dan f adalah frekuensi medan listrik yang diterapkan, C_{memb} , ρ_{int} dan ρ_{ext} berturut-turut adalah kapasitansi membran, resistivitas internal dan resistivitas eksternal membran. Potensialtransmembran maksimal diinduksikan medan listrik bolak-balik dalam bentuk $E_{APP} = E0_{APP} \sin \omega t$ dengan $E0_{APP}$ adalah amplitudo medan dan t adalah waktu, maka (Valic B, 2003):

$$\Delta\Psi_{max} = 1,5aE^0_{APP} / (1+(\omega\tau)^2)^{1/2} \quad (2.33)$$

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

$$\Delta\psi = 1,5a E \cos \theta (1 - \exp(-t/\tau)) \quad (2.34)$$

$$\tau = aC(r_1 + r_e /_2) \quad (2.35)$$

Dimana E adalah kuat medan listrik, a radiasi sel, τ waktu atom terpolarisasi penuh atau waktu relaksasi, t durasi pulsa, C kapasitansi membran, dan r_1 dan r_e berturut-turut adalah resistansi intra dan ekstraseluler (Teissie J, 2008).

2.1.4 Interaksi Medan Listrik dengan Bakteri

Sel secara biologis akan menunjukkan perilaku saat diinduksi medan listrik AC apada berbagai frekuensi (Vlahovska, 2009). Medan listrik dengan

frekuensi rendah berpengaruh pada sinyal sel (Voldman, 2009). Sedangkan medan listrik dengan listrik yang memiliki frekuensi tinggi dapat menyebabkan kecacatan pada sel. Untuk memahami mekanisme fisik interaksi medan listrik AC dengan sel, maka diasumsikan bahwa sel adalah partikel dielektrik bocor dari bentuk bola (Jones, 1995).

Sel adalah benda lunak yang dapat rusak ketika dikenai medan listrik. Membran sel memainkan peran penting dalam proses ini. Lapisan lipid bilayer merupakan komponen struktural utama membran sel. (Vlahovska, 2009) telah mengembangkan sebuah teori analitik untuk menjelaskan transmisi bentuk yang diamati pada vesikel saat diinduksikan oleh medan listrik AC. Untuk menyelesaikan efek medan listrik AC pada membran sel digunakan metode pemodelan vesikel. Pemodelan ini dapat digunakan untuk merasionalisasi deformasi membran akibat medan listrik AC. Eksperimen terbaru menunjukkan bahwa vesikel berperilaku aneh saat dikenai medan listrik AC dan berkecenderungan berubah bentuk menjadi *ellipsoidal* (Riske, 2005). Berdasarkan pengamatan (Agusyanto, 2007). Medan listrik dapat mengubah vesikel ke *ellipsoidal* yang *prolate* atau *oblate* tergantung pada frekuensi yang dikenakan.

Lapisan lipid bilayer sebagai permukaan dengan kapasitansi $C_m = \epsilon_m/h$ dan konduktivitas $G_m = \lambda_m/h$ dimana ϵ_m , λ_m , dan h masing-masing adalah konstanta dielektrik membran, konduktivitas membran, dan tebal *lipid bilayer*. Membran sel bagian intraselular berisi cairan viskositas η_{in} , konduktivitas cairan λ_{in} dan konstanta dielektrik cairan ϵ_{in} . Sedangkan di bagian ekstraselular, terdapat cairan yang dicirikan oleh η_{ex} , λ_{ex} dan ϵ_{ex} (Vlahovska, 2009).

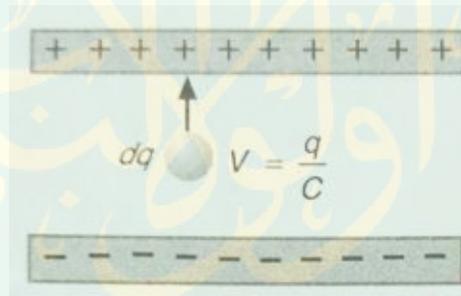
Pada saat membran sel dikenai medan listrik AC dengan amplitudo E_0 (Jones, 1995):

$$E^\infty = E_0 \cos(\omega t) \quad (2.36)$$

Dimana ω adalah frekuensi angular dan t adalah waktu, maka cairan disekitar membran, ion-ion bebas akan bergerak sejajar dengan medan listrik (Saville, 1997). Muatan bebas, ion, cenderung menumpuk dipermukaan membran sehingga media cairan yang mempunyai sifat listrik yang berbeda.

2.1.5 Energi Diantara Dua Plat Sejajar

Medan listrik adalah suatu medan konservatif, sehingga energi dapat tersimpan di dalamnya dalam bentuk energi potensial.



Gambar 2.3 Plat Sejajar Bermuatan (Sutrisno, 1979).

Medan listrik konservatif, energi yang tersimpan di dalamnya sama dengan kerja yang diperlukan untuk membentuk medan listrik. Pada plat yang akan tersimpan pada muatan sebesar Q . Penambahan muatan selanjutnya dapat dilakukan dengan memindahkan muatan sebesar $+dq$ dari pelat negatif ke plat positif. Untuk ini diperlukan energi sebesar (Sutrisno, 1979):

$$dW = (dq) V(q) \quad (2.37)$$

dimana $V(q)$ adalah beda potensial waktu plat kapasitor berisi muatan q , yaitu waktu kapasitor belum penuh terisi. Bila kapasitansinya C ,

$$V(q) = q/C \quad (2.38)$$

Sehingga kerja untuk memindahkan dq dari plat negatif ke plat positif

$$dW = V(q) dq = \frac{q}{C} dq \quad (2.39)$$

Untuk mengisi kapasitor sampai penuh dari nol hingga Q , diperlukan

$$W = \int dW = \int_0^Q V(q) dq \quad (2.40)$$

$$= \int_0^Q \frac{q}{C} dq = 1/2 \frac{Q^2}{C} \quad (2.41)$$

Energi tersimpan di dalam kapasitor sama dengan kerja yang diperlukan untuk membentuk medan listrik di dalamnya, jadi energi yang tersimpan dalam kapasitor bermuatan Q adalah

$$U = 1/2 \frac{Q^2}{C} \quad (2.42)$$

Karena $Q = CV$, persamaan 2.31 dapat ditulis sebagai

$$U = 1/2 CV^2 \quad (2.43)$$

Perhatikan bahwa dalam menurunkan persamaan 2.42, bentuk kapasitor adalah umum, hingga persamaan 2.42 juga berlaku umum. Untuk kapasitor plat sejajar berisi dielektrik:

$$C = \epsilon \frac{A}{d} \quad (2.44)$$

Persamaan 2.43 menjadi

$$\begin{aligned} U &= \frac{1}{2} \epsilon \frac{A}{d} V^2 = \frac{1}{2} \epsilon (Ad) \left(\frac{V}{d}\right)^2 \\ &= \frac{1}{2} \epsilon E^2 V \end{aligned} \quad (2.45)$$

Dimana $V = Ad$ adalah volum kapasitor. Dalam satuan volum di dalam kapasitor energi:

$$U = \frac{U}{V} = \frac{1}{2} \epsilon E^2 \quad (2.46)$$

Persamaan 2.46 ternyata berlaku umum, menyatakan bahwa bila dalam bahan dengan permitivitas ε ada medan listrik dengan kuat medan E , energi yang tersimpan tiap satuan volum (Agusyanto, 2007):

$$U = \frac{1}{2} \varepsilon E^2 \quad (2.47)$$

2.2 Efek Biologis Bakteri yang dipapari Medan Listrik

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 mendapat stres listrik. Ketika diberikan listrik dengan tegangan tertentu, akan terjadi peningkatan energi pada membran yang kemudian dapat meningkatkan ukuran *pore* membran dan berubah menjadi *hydrophilic pore* dimana difusi bebas dapat terjadi.

Energi per pulsa (W') dihitung oleh persamaan berikut (Fang, 2006):

$$W' = \frac{1}{\rho} \int_0^{\infty} I(t) V(t) dt \quad (2.48)$$

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.

$$\log_{10} \frac{N_t}{N_0} = -\left(\frac{W}{\delta}\right)^{\rho} \quad (2.49)$$

Dimana N_t adalah jumlah mikroorganisme yang bertahan, N_0 adalah jumlah awal populasi mikroba, W adalah energi spesifik, δ dan ρ masing-masing adalah parameter skala dan bentuk. Nilai δ mewakili energi spesifik yang diperlukan untuk menonaktifkan siklus log -10 pertama dari populasi mikroba. Nilai ρ

menyumbang cekung ke atas kurva kelangsungan hidup ($\rho < 1$), kurva linier bertahan hidup ($\rho = 1$), dan ke bawah cekung ($\rho > 1$).

$$X = a - (be^{-e^c(E-d)}) \quad (2.50)$$

Dimana X adalah nilai δ atau ρ , E adalah kekuatan medan listrik. Sedangkan b, c, dan d adalah parameter model.

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

Dimana N_t adalah jumlah mikroorganisme yang bertahan. N_0 adalah jumlah awal populasi mikroba. W adalah energi khusus. a_δ b_δ c_δ d_δ koefisien E_Q untuk parameter δ . Sedangkan a_ρ , b_ρ , c_ρ dan d_ρ adalah koefisien E_Q untuk parameter ρ .

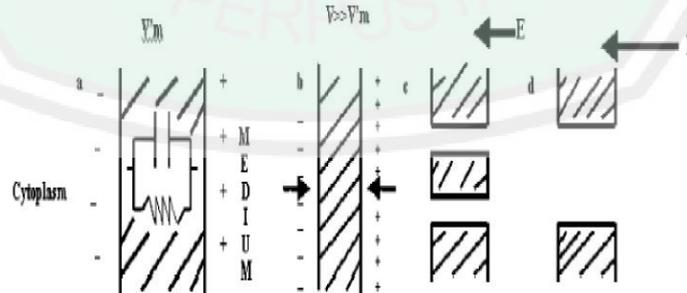
Paparan medan listrik berpulsa pada bakteri penyusun biofilm menyebabkan pergeseran muatan pada atom atau molekul, dimana yang bermuatan negatif akan bergeser ke arah elektroda positif dan sebaliknya, sehingga muatan negatif dan positif menjadi terpisah dan terbentuk dipol. Pergeseran muatan ini membuat 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*.

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.

Beberapa teori yang ada, terdapat salah satu teori yang paling 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).

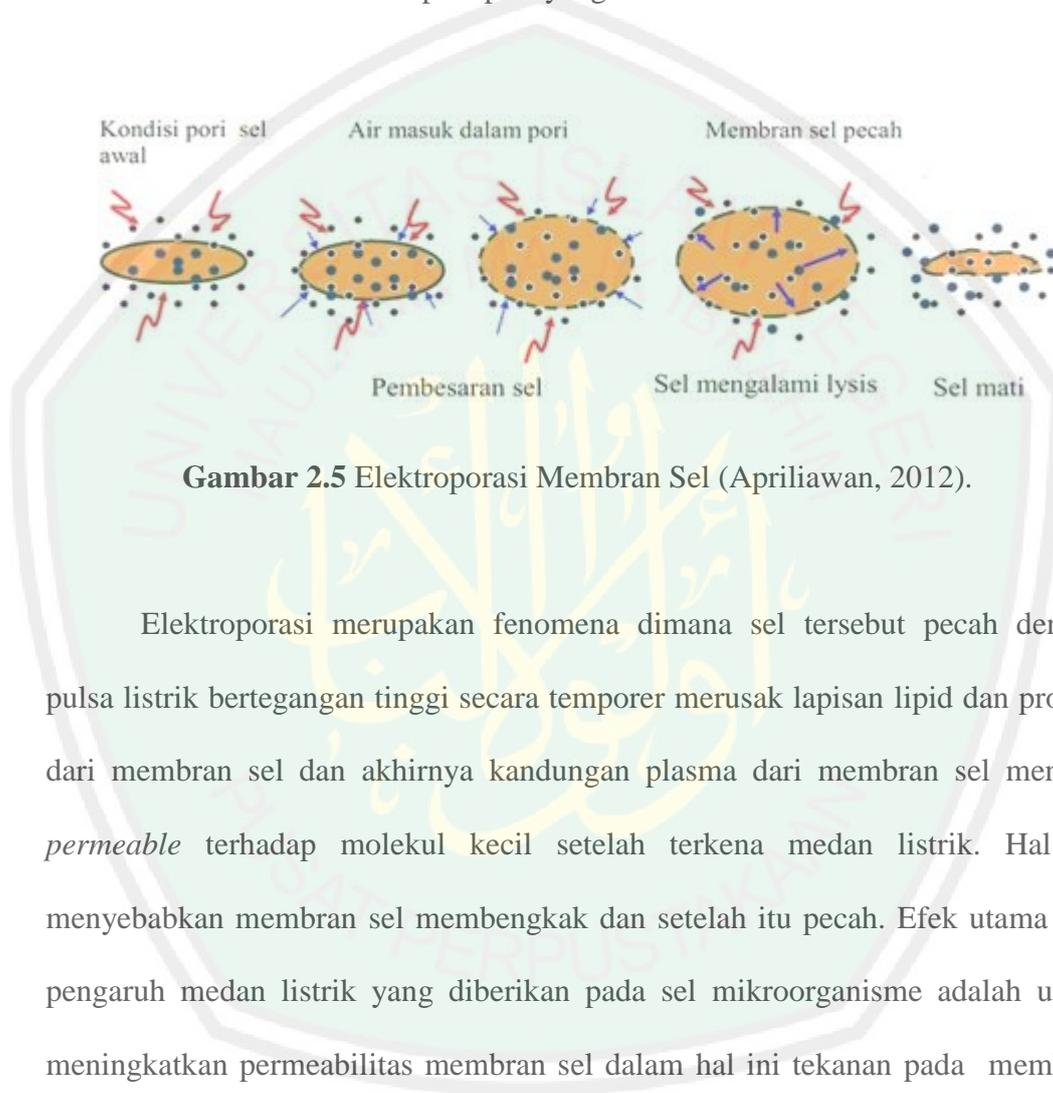
Proses elektroporasi dapat dijelaskan sebagai suatu pengaruh medan listrik terhadap dinding membran sel (*lipoprotein*) yang dapat mengakibatkan destabilisasi temporal, peningkatan potensial transmembran pada sel membran *Lipid Bilayer* dan protein, atau akan mempengaruhi tegangan membran yang menyebabkan 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.



Gambar 2.4 Diagram Perusakan Membran Sel (Apriliawan, 2012).

Keterangan:

- a. Membran sel dengan tegangan listrik
- b. Komperasi membran sel
- c. Pembentukan pori-pori yang lebih besar

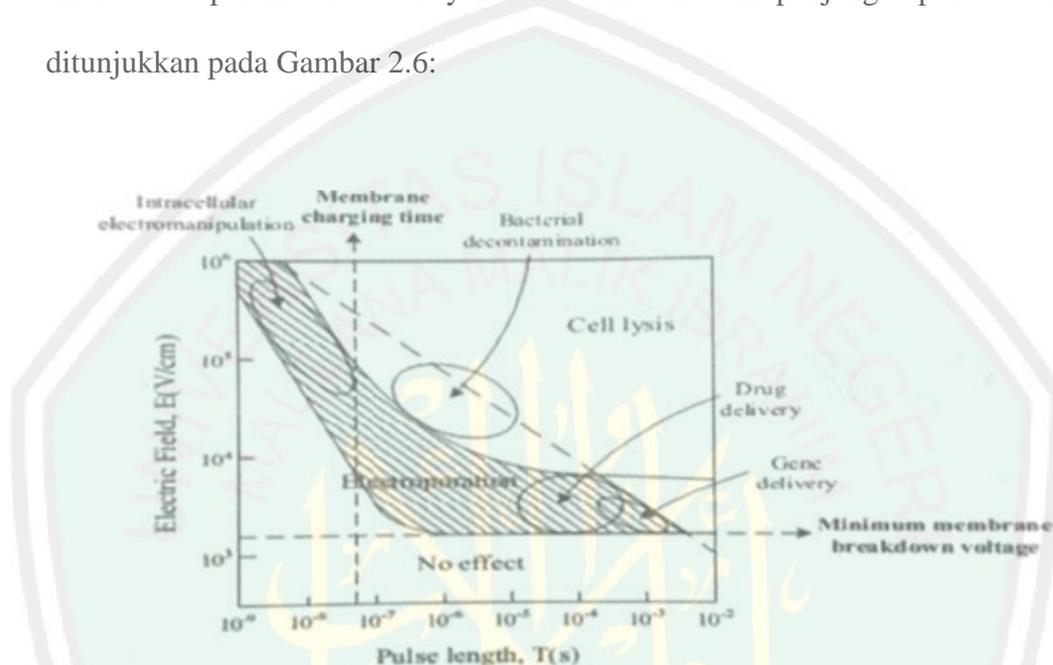


Gambar 2.5 Elektroporasi Membran Sel (Apriliawan, 2012).

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 sel dalam hal ini tekanan pada membran dan pembentukan pori. Dengan meningkatkan intensitas medan listrik dan durasi gelombang atau mengurangi kekuatan ionik dari medium maka pori akan menjadi lebar (terjadi pembentukan lubang pada membran sel) (Apliawan, 2012).

Parameter yang paling penting untuk elektroporasi adalah kuat medan listrik dan durasi medan yang diterapkan (panjang pulsa). Beberapa parameter besar lainnya dapat mempengaruhi efisiensi elektroporasi, seperti bentuk pulsa

listrik, polaritas, jumlah interval antar pulsa, ukuran sel target dan kondisi termal selama dan sesudah pemberian pulsa. Penyerapan molekul juga bergantung pada ukuran molekul, isi dan sifat fisik dan kimia lainnya (Wang, 2009). Hubungan antara dua parameter dasar yaitu kuat medan dan panjang pulsa adalah ditunjukkan pada Gambar 2.6:



Gambar 2.6 Kisaran Parameter untuk Aplikasi *Bioelectric* (Medan listrik E-panjang pulsa T) (Wang, 2009).

Seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 2.6 bahwa dikisaran medan listrik kecil–durasi pulsa (E-T), *poration* tidak akan terjadi. Dengan meningkatnya intensitas medan atau durasi paparan, yang mendekati kisaran di mana efek yang lebih jelas diharapkan, perubahan suhu pun masih ditoleransi. Ketika E-T meningkat ke dosis vital, sel-sel di bawah paparan bisa terbunuh dan itu adalah wilayah sel lisis (Wang, 2009).

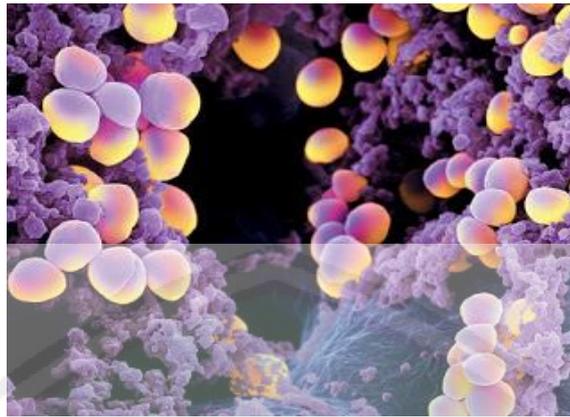
Selain perbedaan hasil E-T perbedaan aplikasi membutuhkan kerja dalam daerah yang berbeda dari peta E-T. Untuk aplikasi medis, kisaran dari panjang pulsa dan medan listrik rendah disebelah kanan dari Gambar 2.8 adalah rentang operasi yang lebih disukai. Khususnya, transfeksi gen dengan parameter *pulsed*

power paling kanan, durasi pulsa dikisaran mikrodetik (20 ms), dan amplitudo medan listrik diurutan 100 kV/cm. *Electrochemotherapy* (pemberian obat) membutuhkan medan listrik yang lebih tinggi (kilovolt per sentimeter) dan pulsa pendek ($> 10\mu\text{s}$). Dekontaminasi bakteri membutuhkan durasi pulsa di dekat kisaran mikrodetik, beroperasi pada medan listrik dari 10 sampai lebih dari 100 kV/cm (Wang, 2009).

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

2.3 Bakteri *Staphylococcus aureus*

Bakteri *Staphylococcus aureus* berasal dari kata *Staphylo* (buah anggur) dan *coccus* (bulat). Bakteri sering ditemukan sebagai flora normal di kulit dan selaput lendir pada manusia. Beberapa jenis bakteri ini dapat membuat enterotoksin yang menyebabkan keracunan. Bakteri *Staphylococcus aureus* adalah bakteri patogen, penyebab penyakit radang di kulit dan menimbulkan bisul yang bernanah disebut abses (Jawetz, 2012). Bakteri ini sering ditemukan pada makanan-makanan yang mengandung protein. Enterotoksin yang diproduksi oleh *Staphylococcus aureus* bersifat tahan panas dan masih aktif setelah dipanaskan pada suhu 100°C selama 30 menit (Madigan, 2008).



Gambar 2.7 Bakteri *Staphylococcus aureus* (Jawetz, 2012).

Kingdom	: <i>Monera</i>
Diviso	: <i>Famicutes</i>
Ordo	: <i>Eubacteiales</i>
Famili	: <i>Mycrococcaeae</i>
Genus	: <i>Staphylococcus</i>
Spesies	: <i>Staphylococcus aureus</i>

Bakteri *Staphylococcus aureus* memerlukan asam amino sebagai sumber nitrogen, serta tiamin dan asam nikotinat. *Staphylococcus aureus* yang tumbuh secara anaerob membutuhkan urasil. Pada umumnya *Staphylococcus aureus* bersifat mesofilik, namun beberapa strain tumbuh pada suhu paling rendah 6-7°C. Secara umum, suhu untuk pertumbuhan *Staphylococcus aureus* antara 7 sampai dengan 47,8°C dengan suhu optimum 35°C. Derajat keasaman (pH) yang memungkinkan bakteri ini tumbuh antara 4,5 sampai dengan 9,3 dengan pH optimum 7,0-7,5. Tumbuh pada aktivitas air lebih dari 0,83 (tumbuh baik pada air >0,99). Hampir semua strain *Staphylococcus aureus* memiliki toleransi tinggi terhadap keberadaan garam dan gula (Monday, 2003).

2.4 Susu

Susu merupakan media yang sangat baik bagi pertumbuhan bakteri dan dapat menjadi sarana bagi penyebaran bakteri yang membahayakan kesehatan manusia. Susu mudah tercemar mikroorganisme bila penanganannya tidak memperhatikan aspek kebersihan (Balía, 2008). Bakteri yang dapat mencemari susu terdiri atas dua golongan, yaitu bakteri patogen dan bakteri apatogen (bakteri pembusuk). Bakteri patogen dapat menyebabkan penyakit yang ditimbulkan oleh susu (*milkborne disease*), seperti *tuberkulosis*, *bruselosis*, dan demam *tifoid*. Mikroorganisme lain yang terdapat di dalam susu yang dapat menyebabkan penyakit adalah *Salmonella*, *Shigella*, *B.cereus*, dan *S. aureus* (Buckle, 1987). Mikroorganisme tersebut dapat masuk ke dalam susu melalui udara, debu, alat pemerahan, dan manusia. Bakteri patogen merupakan bakteri yang berkembang dalam susu dan menyebabkan terjadinya perubahan dan penyingkiran susu sehingga kualitas susu menurun. Beberapa kerusakan pada susu yang disebabkan oleh bakteri tersebut antara lain pengasaman dan penggumpalan susu yang disebabkan oleh Bakteri Asam Laktat (BAL). BAL memfermentasi laktosa menjadi asam laktat sehingga pH susu menurun dan kasein menggumpal. Bakteri yang termasuk BAL diantaranya *Lactococcus* sp, *Lactobacillus* sp, *Streptococcus* sp, dan *Staphylococcus* sp (Gustiani, 2009).

Berdasarkan Standar Nasional Indonesia (SNI) Nomor 3141.1 2011 tentang Susu segar bagian 1: Sapi, syarat susu segar antara lain adalah: (1) tidak ada penyimpangan pada uji *organoleptik* seperti warna putih kekuningan, bau dan rasa khas susu serta konsistensi normal, (2) kandungan protein minimal 2.8% dan lemak minimal 3%, (3) cemaran mikroba maksimum 1 juta CFU/ml (BSN, 1998).

Susu segar yang halal, aman, sehat dan utuh (HASU) dapat dihasilkan dari sapi perah yang sehat serta pemerahannya baik dan benar (Gustiani, 2009).

Sifat fisika pada susu meliputi warna, bau dan rasa, bobot jenis, titik didih, titik beku, panas jenis dan kekentalan (Hadiwiyoto, 1994):

1. Warna, rasa dan bau

Susu mempunyai warna, bau, dan rasa yang khas. Namun, sifat kekhasan susu tersebut sering dipengaruhi oleh faktor keturunan, makanan disamping dipengaruhi pula oleh bakteri (Eckless, 1951). Susu normal berwarna putih keabu-abuan sampai agak kuning keemasan. Warna kuning disebabkan oleh zat warna karoten dalam lemak susu yang berasal dari jenis pakan yang diberikan. Warna putih banyak disebabkan oleh globula-globula lemak, protein kasein yang biasanya mengikat kalsium dan fosfat (Hadiwiyoto, 1994). Susu segar yang baik dan normal mempunyai rasa sedikit manis. Rasa manis tersebut disebabkan oleh adanya gula susu (laktosa). Kandungan laktosa yang cukup rendah dapat menyebabkan rasa susu berubah menjadi asin (karena adanya klorida). Disamping memberikan rasa manis susu segar juga memberikan bau harum yang berasal dari lemak susu (Judskin, 1996). Bau susu akan lebih nyata jika susu dibiarkan beberapa jam terutama pada suhu kamar.

2. Titik Beku dan Titik Didih Susu

Titik beku susu $-0,55^{\circ}\text{C}$ dengan kisaran paling umum adalah $-0,55^{\circ}\text{C}$ sampai $-0,61^{\circ}\text{C}$. unsur yang dapat larut, laktosa dan mineral menentukan titik beku susu dan mengakibatkan rendahnya titik beku susu dibandingkan dengan air, lemak dan protein tidak berpengaruh terhadap titik beku. Titik

didih susu sedikit tinggi dari pada air yaitu 100°C. Susu bila dipanaskan sampai mendidih pada bagian permukaan akan terbentuk lapisan film yang merupakan sejumlah kasein sengan kalsium, dan lemak susu.

3. Bobot Jenis

Pada suhu yang sama, bobot jenis susu segar lebih besar dibandingkan dengan bobot jenis air, hal ini disebabkan oleh adanya zat-zat terlarut seperti lemak dan padatan bukan lemak dalam susu. Susu normal berkisar antara 1,028-1,032. Variasi bobot jenis terjadi karena perbedaan beserta kandungan lemak, laktosa, protein, dan garam-garam mineral (Hadiwiyoto, 1994).

2.4.1 Komposisi Susu

Syarief dan Halid (1993), bila ditinjau dari komposisi gizi, air susu merupakan minuman bergizi tinggi, khususnya karena mengandung protein yang bernilai tinggi serta mempunyai aroma spesifik khas susu. Komposisi susu terdiri dari air (87,75%), lemak (3,6%), protein (3,4%), karbohidrat (4,5%), mineral (0,75%). Komposisi susu segar dan hasil olahannya dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Komposisi Susu dan Hasil Olahannya (Apriliawan, 2012).

Zat Gizi	Susu Murni (%)	Susu Skim (%)
Lemak	3.75	0.05
Laktosa	4.85	4.95
Protein	3.30	3.40
Abu	0.720	0.74
Total Solid	12.65	9.15
Air	87.40	90.19
Gula Tebu	-	-

2.4.2 Lemak Susu

Lemak tersusun dari trigliserida yang merupakan gabungan gliserol dan asam- asam lemak. Dalam lemak susu terdapat 60-75% lemak yang bersifat jenuh, 25-30% lemak yang bersifat tak jenuh dan sekitar 4% merupakan asam lemak *polyunsaturated*. Komponen mikro lemak susu antara lain adalah fosfolipid, sterol, α -tokoferol (vitamin E), karoten, serta vitamin A dan D .

Lemak susu dikeluarkan dari sel epitel ambing dalam bentuk butiran lemak (*fat globule*) yang diameternya bervariasi antara 0,1–15 mikron. Butiran lemak susu tersusun atas butiran trigliserida yang dikelilingi membran tipis yang dikenal dengan *Fat Globule Membran* (FGM) atau membran butiran lemak susu. Persentasi lemak susu bervariasi antara 2,4–5,5%. Lemak susu terdiri atas trigliserida yang tersusun dari satu molekul gliserol dengan tiga molekul asam lemak (*fatty acid*) melalui ikatan–ikatan ester (*ester bonds*). Asam lemak susu berasal dari aktivitas mikrobiologi dalam rumen (lambung ruminansia) atau dari sintesis dalam sel sekretori (Shiddieqy, 2004).

Derajat keasaman (pH) didefinisikan sebagai logaritma dari aktivitas ion hidrogen dan menunjukkan konsentrasi dari ion hidrogen tersebut. Pengukuran kondisi asam dan basa susu, yaitu dengan mengetahui nilai pH susu. Alat yang digunakan adalah pH meter. Pada suhu 25°C, pH susu bervariasi yaitu 6,5-6,7 sehingga menyebabkan susu bersifat *buffer*. Penurunan pH susu dari kisaran normal akan menyebabkan perubahan bentuk susunan komponennya. Derajat keasaman (pH) susu menurun akibat terputusnya fosfat koloidal dan berkurangnya ikatan antara kation dengan protein (Susilorini, 2006).

Makanan yang halal adalah makanan yang dibolehkan dari segi dzatnya misalnya seperti buah-buahan, telur, dan susu. Oleh sebab itu dianjurkan agar mengkonsumsi makanan yang baik, makanan yang tidak membahayakan bagi tubuh manusia. Salah satu makanan yang halal atas kekuasaan Allah adalah susu, sebagaimana yang telah disebutkan dalam Al-Qur'an surat An-Nahl (16):66.

خَالِصًا لِّبَنَّا وَدَمٍ فَرَثٍ بَيْنَ مِنْ بُطُونِهِ ۗ فِي مِمَّا نُسْقِيكُمْ لَعِبْرَةً ۖ الْأَنْعَامِ فِي لَكُمْ وَإِنْ
لِّلشَّارِبِينَ سَائِغًا

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

Dalam surat An-Nahl ini menjelaskan bahwa Allah sanggup menciptakan minuman yang bersih walaupun ada ditempat yang kotor. Allah mampu menciptakan susu yang bersih dan mudah ditelan. Oleh karena itu susu adalah salah satu tanda kekuasaan Allah bagi seluruh umat manusia.

BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Jenis Penelitian

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

3.2 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian akan dilaksanakan pada Bulan Januari-Maret 2017. Tempat penelitian dilakukan di Laboratorium Termodinamika dan Laboraturium Riset Material Jurusan Fisika, Laboratorium Mikrobiologi Jurusan Biologi Fakultas Sains, dan Teknologi Universitas Islam Negeri Malang serta Laboratorium Sentral FMIPA Universitas Negeri Malang.

3.3 Alat dan Bahan

3.3.1 Alat

1. Set medan listrik
2. Mikropipet 1 buah
3. Cawan petri 27 buah
4. Jarum ooe 1 buah
5. *Erlenmeyer* 250 m 2 buah
6. Tabung reaksi 4 buah

7. LAF (*Laminar Air Flow*) 1 unit
8. Bunsen 1 buah
9. Kapas 1 pack
10. Tisu 1 pack
11. Timbangan analitik 1 buah
12. *Hot Plate*
13. *Stirer Bar*
14. Inkubator 1 buah
15. Plastik *wrap* 1 buah
16. Aluminium *Foil* 1 buah
17. Spertus
18. Korek api
19. Gelas ukur 50 ml 1 buah
20. *Blue tip* 100 buah
21. Pinset 1 buah
22. *Beaker glass* 2 buah
23. Botol flakon 60 buah
24. Autoklaf 1 buah
25. Botol semprot 1 buah
26. *Colony counter*

3.3.2 Bahan

1. Bakteri *Staphylococcus aureus*
2. Aquades
3. NaCl
4. Media NA (Nutrien Agar)
5. Alkohol
6. Susu sapi murni sebagai media uji

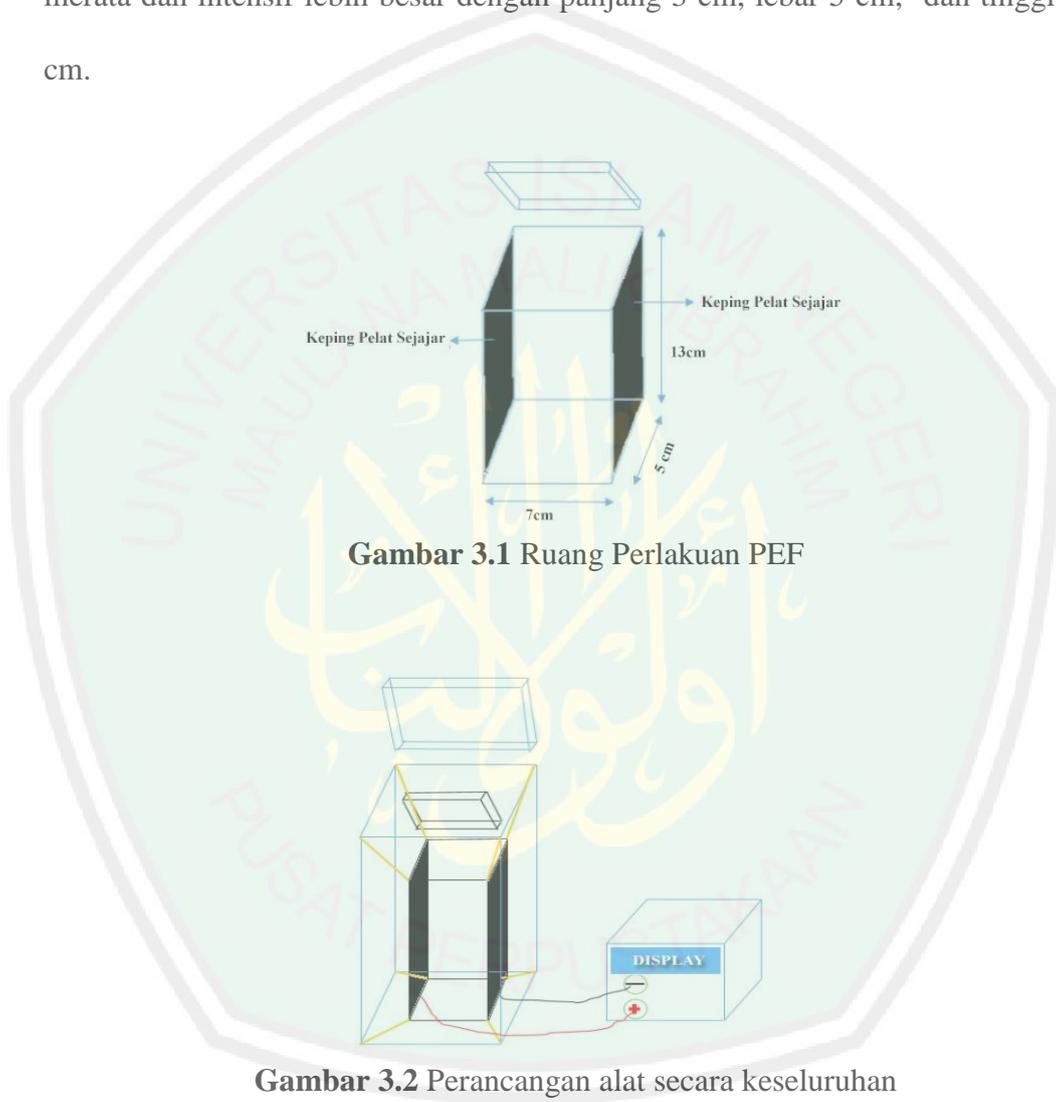
3.3.3 Bahan dan Peralatan Uji Kadar Lemak

1. *Waterbath* 1 buah
2. Pengaduk susu 1 buah
3. Tabung reaksi 4 buah
4. Pipet hisap 1 buah
5. *Homogenezer* 1 buah
6. Botol sampel 32 buah
7. Inkubator 1 buah
8. *Cooling room* 1 buah
9. Susu 2 liter
10. *Methyline Blue* 16 ml
11. Kertas secukupnya

3.4 Desain Rangkaian Alat

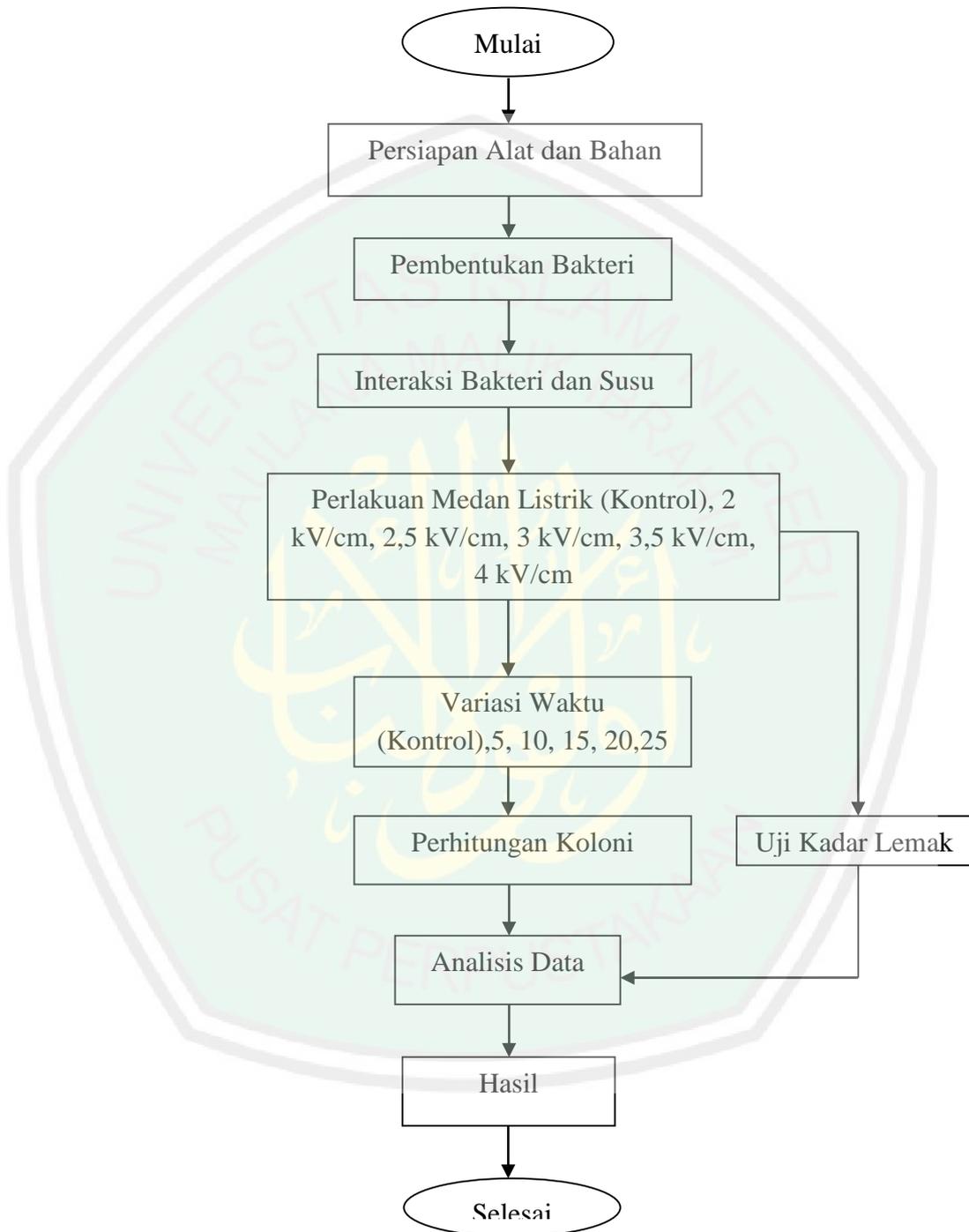
Ruang perlakuan ini merupakan tempat untuk berlangsungnya proses pengejutkan tegangan tinggi menggunakan medan listrik berpulsa atau *Electric field*. Menggunakan keping sejajar berbahan aluminium, pemilihan bahan ini karena

aluminium termasuk salah satu konduktor yang baik sehingga diupayakan dapat menghantarkan medan listrik. Penggunaan keping sejajar lebih efisien jika bentuk ruang perlakuan adalah dimungkinkan akan menghasilkan tegangan yang lebih merata dan intensif lebih besar dengan panjang 3 cm, lebar 5 cm, dan tinggi 13 cm.



Gambar 3.2 Perancangan alat secara keseluruhan

3.5 Rancangan Penelitian



Gambar 3.3 Alur Rancangan Penelitian

Penelitian ini adalah penelitian eksperimen laboratorik dengan pendekatan *Post Test Control Design*. Sampel penelitian adalah bakteri yaitu *Staphylococcus*

aureus. Penentuan bakteri dilakukan dengan mempertimbangkan bahwa bakteri tersebut banyak tumbuh pada susu.

Penonaktifan bakteri *Staphylococcus aureus* dilakukan menggunakan medan listrik berpulsa dan temperatur 30°C. 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 dihitung dengan *colony counter* dan kerusakan lemak susu. Mekanisme pelaksanaan penelitian lebih lengkap terlihat pada Gambar 3.2.

3.6 Langkah-Langkah Penelitian

3.6.1 Penumbuhan Bakteri

Langkah untuk menumbuhkan bakteri *Staphylococcus aureus* antara lain:

1. Sterilisasi alat dengan cara dibungkus dengan plastik tahan panas kemudian dimasukkan ke dalam autoklaf.
2. Diambil 1 ose biakan murni bakteri *Staphylococcus aureus* dan digoreskan secara zigzag kedalam media NA miring dalam tabung reaksi kemudian diinkubasi selama 24 jam.
3. Langkah kedua diulangi terus sampai diperoleh biakan murni.

3.6.2 Penumbuhan Bakteri Pada Susu

Langkah-langkah untuk membuat biofilm dari bakteri *Staphylococcus aureus* antara lain:

1. Dicuci dan disterilkan tabung tempat penumbuhan bakteri pada susu.
2. Mengisi 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.

3.6.3 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 perhitungan jumlah bakteri yang masih hidup dan kandungan lemak susu.
3. Mengulangi langkah 1 sampai 3 dengan waktu paparan dan kuat medan yang berbeda (masing-masing waktu paparan dengan kuat medan diulangi 3 kali).
4. Menentukan waktu paparan optimum
5. Mengulangi langkah 1 sampai 3 dengan waktu paparan optimum.
6. Menghitung penggunaan medan listrik

3.6.4 Perhitungan Bakteri

Langkah-langkah untuk menghitung bakteri *Staphylococcus aureus* yang telah nonaktif 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 kedalam 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. Dan 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 NA.
7. Dimasukkan ke dalam inkubator 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 pengukuran uji kadar lemak.

3.7 Uji Kadar Lemak

Setelah dilakukan pemaparan dengan medan listrik dilakukan pengukuran kadar lemak susu dengan metode ekstraksi soxhlet langkah sebagai berikut:

1. Ditimbang 5 gr sampel yang sudah dihaluskan atau berupa bubuk, kemudian masukkan kedalam selongsong kertas saring yang sudah dialasi dengan kapas.
2. Disumbat ujung selongsong kertas saring dengan kapas lalu diikat menggunakan benang, sisakan ujung benang kira-kira 15 cm sebagai tali sisa.
3. Dikeringkan sampel tersebut kedalam oven dengan suhu 80°C selama 1 jam.
4. Selama proses pengeringan sampel, dimasukkan labu lemak dalam oven kira-kira 15 menit lalu dinginkan dalam desikator.
5. Setelah 1 jam, diambil sampel dari oven kemudian masukkan kedalam soxhlet yang sudah dipasang dipenyangga.
6. Dihubungkan ujung bawah soxhlet dengan labu lemak yang sudah diketahui bobotnya (berat labu kosong (W_2)).
7. Dituangkan petroleum eter secukupnya dan dialirkan lewat ujung pendingin soxhlet.
8. Dipanaskan di atas pemanas listrik pada skala 5 selama kurang lebih 2 jam.
9. Setelah 2 jam, diambil labu lemak menggunakan penjepit dan dinginkan dalam desikator dan timbang bobot labu lemak dengan lemaknya.
10. Untuk mengetahui presentase lemak dalam sampel, lakukan perhitungan:

$$\text{Persen lemak} = \frac{W_1 - W_2}{W} \times 100\% \quad (3.1)$$

Keterangan

W : bobot sampel (gram)

W₁ : bobot labu lemak dan lemak (gram)

W₂ : bobot labu lemak kosong (gram)

3.8 Pengambilan Data

1. Diambil sampel sebanyak 20 ml tiap-tiap variasi suhu
2. Dimasukkan sampel tersebut kedalam tabung reaksi
3. Ditetesi dengan *Methylen Blue* sebanyak 0,5 ml
4. Ditutup tabung reaksi kemudian dicampurkan larutan sampai diperoleh warna yang merata dengan cara membolak-balik tabung, jangan dikocok.
5. Diinkubasi dalam suhu 37°C.
6. Diamati perubahan warna tiap 30 menit dan dicatat berapa lama waktu yang dibutuhkan untuk terjadinya perubahan warna dari biru menjadi putih.

3.9 Teknik Pengumpulan Data

Teknik pengumpulan data untuk menentukan pengaruh paparan medan listrik terhadap pertumbuhan bakteri dilakukan dengan cara menghitung jumlah bakteri *Satphylococcus aureus* yang masih hidup sebelum dan sesudah dipapari medan listrik. Selanjutnya diperoleh data yang berupa lama waktu, maka dianalisis. Waktu menunjukkan perkiraan jumlah bakteri yang terkandung di dalam susu. Semakin lama waktu maka semakin bagus kualitas susu dan semakin sedikit bakteri patogen yang berada dalam susu yang mengakibatkan semakin

lama waktu simpan susu tersebut. Maka dari penelitian ini dapat diketahui pengaruh suhu mempengaruhi lama waktu simpan susu pasteurisasi (homogen).

Tabel 3.1 Data Hasil Pengamatan (pemaparan medan listrik dari masing-masing bakteri).

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

3.10 Teknik Analisis Data

Analisis deskriptif, dihitung jumlah bakteri *Staphylococcus aureus* setelah diberi paparan medan listrik. Jumlah bakteri yang hidup tersebut 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 pemodelan. Dari grafik pemodelan ditentukan waktu paparan optimum pada masing-masing kuat medan listrik. Data hasil waktu paparan optimum berikutnya dilakukan analisis kebutuhan energi listrik pada masing-masing paparan menggunakan persamaan yang sudah ada dan di plot dalam bentuk grafik. Dengan demikian dapat diketahui kebutuhan energi listrik untuk penonaktifan bakteri *Staphylococcus aureus*.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil dari serangkaian pengujian pengaruh medan listrik terhadap pertumbuhan bakteri *Staphylococcus aureus* pada susu sapi yang dapat diuraikan berdasarkan data dan analisis hasil penelitian serta pembahasan hasil penelitian sebagai berikut.

4.1. Analisis Hasil Penelitian

Proses pengambilan data dilakukan melalui 3 tahap. Tahap pertama, membangkitkan medan listrik yang dihasilkan dari *power supply* 18 kV diberi saklar dihubungkan pada plat sejajar menghasilkan medan listrik. Plat sejajar dihubungkan pada oskiloskop untuk menampilkan gelombang yang dihasilkan, gelombang yang dihasilkan bentuk gigi gergaji. Pada tahap kedua, dilakukan sterilisasi alat. Sterilisasi bertujuan agar alat yang digunakan tidak terkontaminasi dengan bakteri lainnya. Tahap ketiga, dilakukan proses penumbuhan bakteri pada susu sapi. Bakteri diambil 1 ose dari bakteri yang sudah ditumbuhkan dan dimasukkan ke dalam *beaker glass* sebagai tempat tumbuhnya bakteri yang berisi susu, selanjutnya diinkubasi selama 24 jam pada inkubator dengan suhu 37°C, setelah bakteri tumbuh, maka bakteri diambil 1 ose lalu dicampurkan ke dalam susu sapi sebanyak 100 ml. Tahapan selanjutnya adalah melakukan paparan medan listrik sebesar 2 sampai dengan 4 kV/cm masing-masing selama 5-25 menit.

Proses selanjutnya dilakukan pengenceran di ruang *Laminar Air Flow*(LAF) dengan pengenceran sebanyak 10^{-8} , pengenceran dilakukan dengan cara mengambil 0,1 ml suspensi, selanjutnya dimasukkan ke dalam botol flakon yang diisi aquades 0,9 ml, diambil 0,1 ml kemudian dituangkan pada cawan petri, lalu diinkubasi

selama 24 jam dengan suhu 3 °C, selanjutnya dihitung dan dicatat jumlah koloni bakteri. Menghitung jumlah koloni bakteri menggunakan *colony counter* dan untuk mengetahui jumlah koloni bakteri *Staphylococcus aureus* dihitung menggunakan persamaan :

$$\frac{\Sigma koloni}{ml} = \Sigma koloni \times \frac{1}{10^{-2}} \text{ CFU/ml} \quad (4.1)$$

penurunan jumlah koloni bakteri dihitung menggunakan persamaan (Jones, 1995):

$$\text{Persentase Penurunan Bakteri} = \log \left(\frac{N_o}{N_t} \right) \quad (4.2)$$

dimana N_o adalah jumlah rata-rata sebelum dipaparkan medan listrik, dan N_t merupakan jumlah bakteri setelah dipaparkan medan listrik. Berdasarkan tahapan-tahapan pelaksanaan yang telah dipaparkan, maka data dan analisis hasil penelitian dapat diuraikan seperti dibawah.

4.1.1 Pengaruh Paparan Medan Listrik terhadap Penurunan Jumlah Bakteri

Data Penelitian

Hasil serangkaian pengujian medan listrik berpulsa untuk menghambat pertumbuhan bakteri *Staphylococcus aureus* pada susu sapi dapat dijelaskan pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Data Pengaruh Medan Listrik terhadap Penurunan Jumlah Bakteri *Staphylococcus aureus* pada Susu Sapi

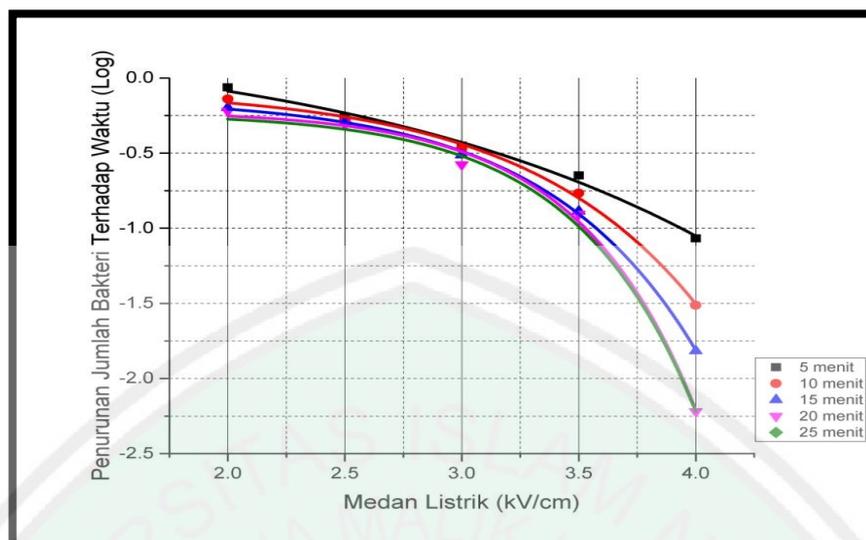
Medan Listrik (E)	Penurunan Jumlah Bakteri dalam Bentuk Logaritma (log)				
	5 menit	10 menit	15 menit	20 menit	25 menit
Kontrol	49,8 x 10 ⁸ CFU/ml				
2 kV/cm	-0,063	-0,140	-0,197	-0,220	-0,234
2,5 kV/cm	-0,265	-0,279	-0,296	-0,309	-0,348
3 kV/cm	-0,450	-0,471	-0,512	-0,576	-0,596
3,5 kV/cm	-0,649	-0,766	-0,886	-0,904	-0,936
4 kV/cm	-1,067	-1,512	-1,816	-2,220	-3,299

Tabel 4.1 menunjukkan bahwa paparan kuat medan listrik berpulsa terhadap penurunan jumlah bakteri. Paparan kuat medan listrik yang digunakan sebesar 2-4

kV/cm dengan lama paparan 5-25 menit. Hasil data menunjukkan bahwa jumlah koloni bakteri sebelum dipapari medan listrik sebesar $49,8 \times 10^8$ CFU/ml. Setelah dipapari medan listrik dengan kuat medan listrik 2 kV/cm selama 5 menit terjadi penurunan jumlah koloni bakteri sebesar log -0,063. Ketika waktu ditambah menjadi 25 menit terjadi penurunan jumlah koloni bakteri sebesar log -0,234. Pada kuat medan listrik 3,5 kV/cm dengan lama paparan 5 menit terjadi penurunan bakteri sebesar log -0,649. Ketika waktu ditambah menjadi 25 menit terjadi penurunan sebesar log -0,936. Pada kuat medan listrik 4 kV/cm dengan lama paparan 5 menit terjadi penurunan bakteri sebesar log -1,067. Ketika waktu ditambah menjadi 25 menit terjadi penurunan sebesar log -3,299. Hasil data dapat ditampilkan pada Tabel 4.1 penurunan fungsi (Log) digunakan untuk menyederhanakan bilangan eksponensial yang terdapat pada bakteri. Semakin besar medan listrik yang dipaparkan, maka semakin besar pula penurunan jumlah koloni bakteri *Staphylococcus aureus* pada susu sapi.

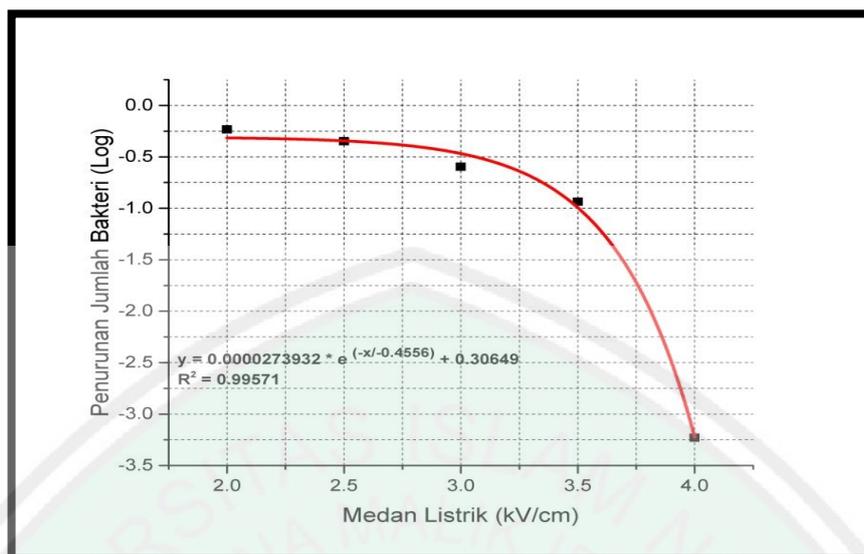
Analisis Data Hasil Penelitian

Data pada Tabel 4.1 apabila di plot dalam bentuk grafik terlihat pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Grafik Pengaruh Medan Listrik terhadap Penurunan Jumlah Koloni Bakteri *Staphylococcus aureus*.

Gambar 4.1 menunjukkan bahwa paparan medan listrik dari 2-3 kV/cm tidak mengalami penurunan yang signifikan. Pada Gambar 4.1 menunjukkan bahwa jarak saling berdekatan, hal ini terjadi karena paparan medan listrik sebesar 2-3 kV/cm berada dibawah batas ambang potensial membran sel, sehingga tidak berdampak pada penurunan bakteri. Paparan kuat medan listrik sebesar 3,5 kV/cm mendekati batas ambang potensial membran sel, ditunjukkan pada Gambar 4.1 paparan dengan kuat medan listrik sebesar 4 kV/cm terjadi penurunan yang signifikan, ditunjukkan data grafik saling berjauhan. Kondisi ini terjadi paparan medan listrik sebesar 4 kV/cm telah menyebabkan terjadinya elektroporasi, sehingga jumlah penurunan bakteri semakin besar. Analisis penurunan jumlah bakteri *Staphylococcus aureus* pada susu sapi terhadap besar medan listrik berpulsa dapat digunakan melalui pendekatan eksponensial dengan regresi pada grafik Gambar 4.2



Gambar 4.2 Penurunan Jumlah Koloni Bakteri *Staphylococcus aureus* setelah dipapari Medan Listrik (2-4 kV/cm) dengan Lama Paparan 25 Menit.

Grafik menunjukkan penurunan jumlah bakteri *Staphylococcus aureus* melalui pendekatan eksponensial dengan regresi sebesar $R^2 = 0,99571$. Pada paparan dengan waktu 25 menit. Apabila penurunan fungsi (Log) digunakan untuk menyederhanakan bilangan eksponensial bakteri terdapat pada Gambar 4.2 ditunjukkan bahwa penurunan jumlah bakteri sebesar log -10 dibutuhkan kuat medan listrik sebesar 4,44 kV/cm.

4.1.2 Pengaruh Lama Paparan terhadap Penurunan Jumlah Bakteri *Staphylococcus aureus*

Data Penelitian

Hasil serangkaian pengujian lama paparan terhadap bakteri *Staphylococcus aureus* pada susu sapi oleh paparan medan listrik dapat dijelaskan sebagaimana

Tabel 4.2

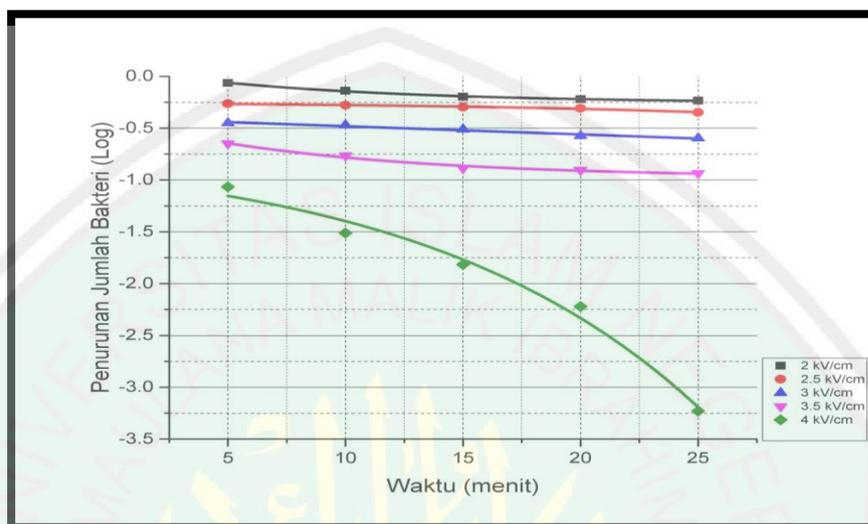
Tabel 4.2 Data Pengaruh Lama Paparan terhadap Penurunan Jumlah Bakteri *Staphylococcus aureus* pada Susu Sapi.

Waktu (Menit)	Penurunan jumlah bakteri dalam bentuk logaritma (log)				
	2 kV/cm	2.5 kV/cm	3 kV/cm	3.5 kV/cm	4 kV/cm
Kontrol	49,8 x 10 ⁸ CFU/ml				
5	-0,063	-0,26	-0,45	-0,65	-1,067
10	-0,14	-0,28	-0,48	-0,76	-1,522
15	-0,20	-0,30	-0,52	-0,52	-1,823
20	-0,22	-0,30	-0,58	-0,92	-2,221
25	-0,23	-0,35	-0,60	-0,95	-3,229

Tabel 4.2 menunjukkan bahwa lama paparan terhadap penurunan jumlah bakteri. Lama paparan yang digunakan masing-masing selama 5-25 menit dengan kuat medan listrik sebesar 2-4 kV/cm. Hasil data menunjukkan bahwa jumlah koloni bakteri sebelum dipapari medan listrik sebesar 49,8 x 10⁸ CFU/ml, setelah dipapari lama paparan selama 5 menit dengan medan listrik sebesar 2 kV/cm terjadi penurunan jumlah koloni bakteri sebesar log -0,063. Ketika medan listrik dinaikkan menjadi 4 kV/cm terjadi penurunan jumlah koloni bakteri sebesar log -1,067. Pada lama paparan selama 15 menit dengan kuat medan listrik sebesar 2 kV/cm terjadi penurunan jumlah koloni bakteri sebesar log -0,20. Ketika medan listrik dinaikkan sebesar 4 kV/cm terjadi penurunan jumlah koloni bakteri sebesar log -1,823. Pada lama paparan selama 25 menit dengan kuat medan listrik sebesar 2 kV/cm terjadi penurunan jumlah koloni bakteri sebesar log -0,23. Ketika medan listrik dinaikkan sebesar 4 kV/cm terjadi penurunan jumlah koloni bakteri sebesar log -3,229. Hasil data ditampilkan pada Tabel 4.2 penurunan fungsi (Log) digunakan untuk menyederhanakan bilangan eksponensial yang terdapat pada bakteri. Semakin lama paparan yang dipaparkan, maka semakin besar pula penurunan jumlah koloni bakteri *Staphylococcus aureus* pada susu sapi.

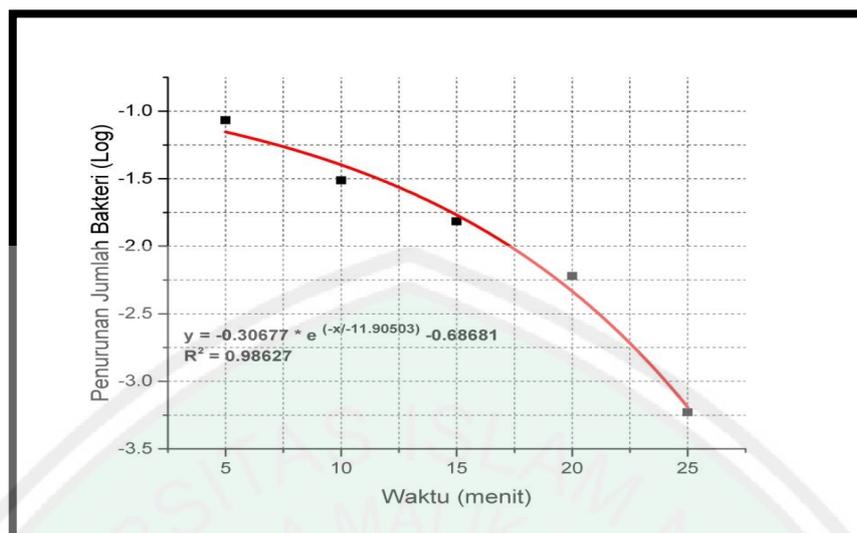
Analisis Data Hasil Penelitian

Data pada Tabel 4.2 apabila di plot dalam bentuk grafik terlihat pada Gambar 4.3.



Gambar 4.3 Grafik Pengaruh Lama Paparan terhadap Penurunan Jumlah Koloni Bakteri *Staphylococcus aureus*.

Gambar 4.3 menunjukkan bahwa kuat medan listrik dengan penambahan waktu paparan tidak mempunyai dampak yang signifikan, ditunjukkan pada grafik Gambar 4.3 yang berbentuk linier horizontal namun, pada medan listrik sebesar 4 kV/cm menunjukkan bahwa semakin lama paparan, maka penurunan jumlah koloni bakteri semakin besar, dikarenakan difusi air dan ion yang melewati membran sel, sehingga kondisi bakteri menjadi inaktivasi. Analisis penurunan jumlah bakteri *Staphylococcus aureus* pada susu sapi terhadap lama paparan medan listrik berpulsa dapat digunakan melalui pendekatan eksponensial dengan regresi pada Gambar 4.4



Gambar 4.4 Penurunan Jumlah Koloni Bakteri *Staphylococcus aureus* setelah diberikan Perlakuan Lama Paparan dengan Medan Listrik 2-4 kV/cm

Grafik menunjukkan penurunan jumlah bakteri *Staphylococcus aureus* melalui pendekatan eksponensial dengan regresi sebesar $R^2 = 0,98627$. Pada paparan dengan kuat medan listrik sebesar 4 kV/cm. Apabila penurunan fungsi (Log) digunakan untuk menyederhanakan bilangan eksponensial bakteri terdapat pada Gambar 4.4 ditunjukkan bahwa penurunan jumlah bakteri sebesar log -10 dibutuhkan lama paparan sebesar 42.39 menit.

4.1.3 Pengaruh Paparan Medan Listrik terhadap Kadar Lemak

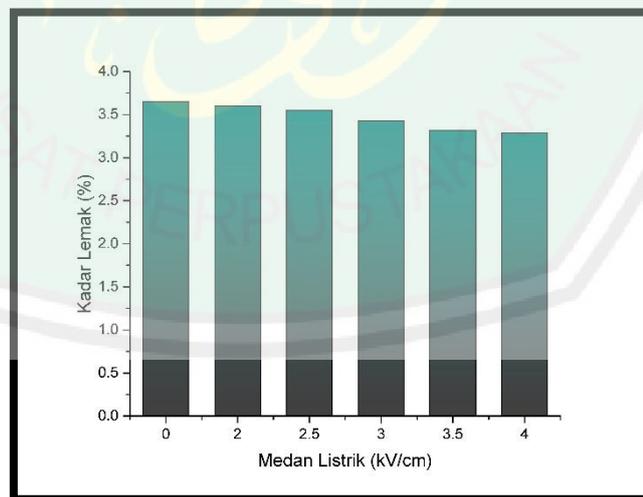
Hasil serangkaian pengujian kadar lemak terhadap lama paparan medan listrik berpulsa dapat dijelaskan sebagaimana Tabel 4.3

Tabel 4.3 Data Pengaruh Medan Listrik terhadap Kadar Lemak Susu Sapi

No.	Medan Listrik	Kadar Lemak (%)
1.	Kontrol	3,65
2.	2 kV/cm	3,60
3.	2,5 kV/cm	3,55
4.	3 kV/cm	3,43
5.	3,5 kV/cm	3,32

Tabel 4.3 menunjukkan bahwa kadar lemak ketika sebelum dipapari medan listrik sebesar 3,65%, Setelah dipapari medan listrik sebesar 2 kV/cm dengan suhu 30°C didapatkan persentase kadar lemak sebesar 3,60%, setelah diberikan paparan medan listrik sebesar 2,5 kV/cm didapatkan persentase kadar lemak sebesar 3,55% mengalami penurunan secara terus-menerus sampai pada paparan sebesar 4 kV/cm didapatkan persentase kadar lemak sebesar 3,29%, sehingga paparan medan listrik mempengaruhi terhadap penurunan kadar lemak pada susu. Demikian hasil pengujian dengan paparan medan listrik pada susu dapat dijadikan parameter kualitas susu sapi yang layak konsumsi.

Pengaruh paparan medan listrik dapat dengan jelas digambarkan melalui persentase kadar lemak setelah dipapari kuat medan listrik sebesar 2 kV/cm sampai 4 kV/cm dengan lama paparan 25 menit dengan suhu 30°C dapat ditampilkan pada grafik Gambar 4.5 sebagai berikut.



Gambar 4.5 Grafik Persentase Kadar Lemak setelah dipaparkan dengan Medan Listrik selama 25 menit dengan Suhu 30°C.

Berdasarkan grafik Gambar 4.5 menunjukkan bahwa medan listrik berpengaruh terhadap kadar lemak. Ketika sebelum dipapari medan listrik

diperoleh penurunan persentase kadar lemak sebesar 3,65%. Setelah dipapari sebesar 4 kV/cm didapatkan persentase kadar lemak sebesar 3,29%. Hal ini ditunjukkan pada Gambar 4.5 dimana grafik semakin kekanan semakin menurun. Penurunan ini disebabkan dengan adanya paparan medan listrik yang menyebabkan permeabilitas seluler. Semakin tinggi medan listrik, maka semakin banyak kehilangan kandungan air.

4.2 Pembahasan Hasil Penelitian

Paparan medan listrik berpulsa sebesar 2-3 kV/cm tidak mengalami penurunan yang signifikan. Data pada Tabel 4.2 menunjukkan bahwa jarak saling berdekatan. Hal ini terjadi karena paparan medan listrik sebesar 2-3 kV/cm berada dibawah batas ambang potensial membran sel, sehingga tidak berdampak pada penurunan bakteri. Pada paparan dengan kuat medan listrik sebesar 4 kV/cm terjadi penurunan yang signifikan. Data grafik menunjukkan saling berjauhan. Kondisi ini terjadi paparan medan listrik sebesar 4 kV/cm telah menyebabkan terjadinya elektroporasi, sehingga jumlah penurunan bakteri semakin besar. Penurunan fungsi (Log) digunakan untuk menyederhanakan bilangan eksponensial yang terdapat pada bakteri. Semakin besar medan listrik yang dipaparkan, maka semakin besar pula penurunan jumlah koloni bakteri *Staphylococcus aureus* pada susu sapi.

Penambahan waktu paparan potensial membran selama 5-25 menit tidak mempunyai dampak yang signifikan dengan penambahan waktu paparan, jumlah aliran ion dan air yang melewati membran masih tetap. Pada Gambar 4.3 ditunjukkan bahwa grafik berbentuk linier horizontal, namun pada medan listrik sebesar 4 kV/cm menunjukkan bahwa semakin lama paparan, maka penurunan jumlah koloni bakteri semakin besar, dikarenakan difusi air dan ion yang melewati

membran sel, sehingga kondisi bakteri menjadi inaktivasi. Penurunan fungsi (Log) digunakan untuk menyederhanakan bilangan eksponensial yang terdapat pada bakteri.

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

Paparan pada medan listrik berpulsa berpengaruh terhadap kadar lemak. Ketika sebelum dipapari medan listrik persentase kadar lemak sebesar 3,65%, Setelah dipapari medan listrik sebesar 2 kV/cm dengan suhu 30°C didapatkan persentase kadar lemak sebesar 3,60%, sampai pada paparan sebesar 4 kV/cm didapatkan persentase kadar lemak sebesar 3,29%, sehingga paparan medan listrik mempengaruhi terhadap penurunan kadar lemak pada susu. Semakin tinggi medan listrik berpulsa, maka penurunan kadar lemak semakin besar, dikarenakan medan listrik menyebabkan permeabilitas dari seluler kadar lemak semakin meningkat,

sehingga menyebabkan kadar lemak menurun dan pengurangan pada kandungan air.

Medan listrik adalah daerah yang dipengaruhi oleh muatan listrik pada muatan q , listrik statis atau arus I apabila listrik dinamis. Medan listrik berpulsa adalah medan listrik yang berdenyut dikarenakan mengalami gangguan (usikan), dimana gangguan (usikan) terjadi dikarenakan dari sumber listrik atau dari sumber gelombang lainnya, misalkan sinar. Perubahan tergantung dari variasi yang digunakan seperti frekuensi, hambatan. Sumbernya adalah tegangan bolak balik atau tegangan AC.

Pada prinsipnya, kapasitor merupakan susunan dua buah konduktor yang dipisahkan oleh sebuah bahan dielektrik. Dalam penelitian ini bahan dielektrik digantikan dengan susu murni yang berisikan bakteri *Staphylococcus aureus*. Perpindahan muatan positif dan negatif pada masing-masing plat kapasitor yang dihubungkan dengan sumber tegangan tersebut. Sehingga plat yang dihubungkan dengan sumber tegangan cenderung lebih bermuatan positif dan sebaliknya.

Tegangan listrik adalah salah satu faktor utama yang mempengaruhi dalam penonaktifan mikroba. Tegangan listrik berbanding lurus dengan medan listrik E . Apabila frekuensi ditingkatkan maka penonaktifan bakteri juga semakin meningkat. Frekuensi semakin tinggi mengakibatkan loncatan api yang semakin cepat sehingga menimbulkan tegangan yang semakin cepat tersimpan pada plat keping sejajar. Medan listrik yang diberikan pada dielektrik, dalam hal ini susu mengalami terpolarisasi. Besarnya polarisasi tidak hanya bergantung pada medan listrik, tetapi juga bergantung pada sifat molekul penyusun bahan dielektrik tersebut.

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

Proses kerusakan membran sel disebut elektroporasi dimana sel tersebut pecah dengan pulsa listrik betegangan 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 berpulsa. Efek utama dari pengaruh medan listrik berpulsa yang diberikan pada sel mikoorganisme adalah untuk meningkatkan permeabilitas membran, dalam hal ini adalah pada membran dan pembentukan pori.

4.3 Kajian Integrasi Pengaruh Medan Listrik dan Lama Paparan terhadap Penurunan Bakteri *Staphylococcus aureus* Pada Susu Sapi

Makanan yang halal adalah makanan yang dibolehkan dari segi dzatnya misalnya seperti buah-buahan, telur, dan susu. Oleh karena itu, dianjurkan agar mengkonsumsi makanan yang baik, makanan yang tidak membahayakan bagi

tubuh manusia. Salah satu makanan yang halal atas kekuasaan Allah adalah susu, sebagaimana yang telah disebutkan dalam Al-Qur'an surat An-Nahl (16):66.

خَالِصًا لِّبَنَّا وَدَمٍ فَرَثٍ بَيْنَ مِنْ بُطُونِهِ ۗ فِي مِمَّا نُسْقِيكُمْ لَعِبْرَةً لَّا تُنْعَمُ فِي لَكُمْ وَإِنْ
لِّلشَّرِبِينَ سَائِغًا

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

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

Sedangkan menurut ilmu kesehatan, makanan sehat adalah makanan yang mengandung zat-zat yang dibutuhkan oleh tubuh dan harus memiliki beberapa syarat, yaitu higienis, bergizi dan berkecukupan, akan tetapi tidak harus makanan mahal dan enak. Makanan higienis adalah makanan yang tidak terkena kuman atau zat yang dapat mengganggu kesehatan. Makanan bergizi adalah makanan yang memiliki jumlah kandungan karbohidrat, protein, lemak, dan vitamin yang cukup untuk tubuh. Sedangkan makanan berkecukupan adalah makanan yang sesuai dengan kebutuhan berdasarkan usia dan kondisi tubuh. Selain persyaratan di atas, makanan sehat itu dipengaruhi oleh cara memasaknya, suhu makanan pada saat penyajian dan bahan makanan yang mudah dicerna. Tujuan dari mengonsumsi makanan yang sehat bagi tubuh adalah untuk menjaga agar badan tetap sehat,

tumbuh dan berkembang dengan baik. Sedangkan apabila terpenuhi syarat-syarat tersebut, bukan kesehatan yang didapat tetapi malah terbentuknya penyakit (Voldman, 2006).

Berbagai teknologi tentang pengawetan tehah digunakan, salah satunya dengan metode pasteurisasi. Metode pasteurisasi sangat efisiensi tetapi juga memiliki kelemahan yang banyak berkurangnya komponen penting dalam susu sapi. Alternatif lain yaitu dengan menggunakan metode medan listrik berpulsa. Seperti yang telah dilakukan penelitian yaitu dengan medan listrik berpulsa dapat menonaktifkan berbagai bakteri. Sehingga berbagai bakteri patogen dalam susu sapi dapat berkurang untuk menghindarkan manusia dari mengkonsumsi susu yang telah terkontaminasi berbagai bakteri.

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian pengaruh medan listrik berpulsa dengan variasi waktu pemaparan untuk menghambat pertumbuhan bakteri *Staphylococcus aureus* dapat disimpulkan bahwa:

1. Medan listrik berpulsa mempengaruhi terhadap penurunan jumlah bakteri *Staphylococcus aureus*. Diketahui data dari hasil paparan waktu pemaparan selama 25 menit, menunjukkan terjadinya penurunan jumlah bakteri sebesar log -10 pada medan listrik berpulsa sebesar 4,44 kV/cm. Semakin besar kuat medan listrik maka penurunan jumlah koloni bakteri semakin banyak.
2. Waktu pemaparan mempengaruhi terhadap penurunan jumlah bakteri *Staphylococcus aureus*. Diketahui data dari hasil kuat medan listrik berpulsa sebesar 4 kV/cm, menunjukkan terjadinya penurunan jumlah bakteri sebesar log -10 pada waktu pemaparan selama 49.39 menit. Semakin lama paparan maka penurunan jumlah bakteri semakin banyak.
3. Medan listrik mempengaruhi terhadap penurunan kadar lemak susu sapi. Efek perlakuan medan listrik sebesar 4 kV/cm dengan lama pemaparan selama 25 menit, menunjukkan terjadinya penurunan kadar lemak sebesar 3,29%. Pengaruh medan listrik berpulsa dapat merusak kadar lemak secara signifikan. Semakin besar medan listrik berpulsa yang diberikan, maka penurunan kadar lemak semakin besar.

5.2 Saran

Berdasarkan penelitian diperlukan penelitian lebih lanjut mengenai:

1. Diperlukan untuk melakukan penelitian lanjutan mengenai melihat kandungan pada susu yang telah dipapari dengan medan listrik
2. Dapat dilakukan penelitian untuk intensitas medan listrik lebih besar
3. Dapat dilakukan pada proses pengenceran dan penanaman bakteri, sebaiknya alat dan bahan harus benar-benar steril sehingga tidak terjadi kontaminasi.



DAFTAR PUSTAKA

- Agusyanto, Rudi. 2007. *Jaringan Sosial Dalam Organisasi*. Jakarta: PT Raja Grafindo. Persada.
- Al-Quran Al-Karim. 2008. *Al-Qur'an dan terjemahannya*. Departemen Agama RI. Bandung: Diponegoro.
- Apriliawan, Hadi. 2012. *Laban Electric alat pasteurisasi susu kejut listrik tegangan tinggi (Pulsed Electric Fields) menggunakan flyback transformer*. Malang: Universitas Brawijaya.
- Azhar, Arsyad 2011. *Media Pembelajaran*. Jakarta: PT Raja Grafindo Persada.
- Balia, R.L., E. Harlia, D. Suryanto. 2008. *Jumlah Bakteri Total dan Koliform pada Susu Segar Peternakan Sapi Perah Rakyat dan Susu Pasteurisasi Tanpa Kemasan di Pedagang Kaki Lima*. Fakultas Pertanian Universitas Padjajaran.
- Bueche, 1986. *Introduction to Physics for Scientist an Engineers*, New York: John Wiley & Sons Inc.
- Buckle, K.A. Edwards, R.A., Fleet, G. H., and Wotton, M. 1987. *Ilmu Pangan*. Penerjemah Hari Purnomo dan Adiono. Universitas Indonesia Press. Jakarta.
- Bermudez OI. 2010. *Disentangling Nutritional Factors and household charectiristics related to child stunting and maternal overweight in Guatemala*. Economics an Human Biology, 10 (3): 232-241.
- BSN (Badan Standarisasi Nasional). 1998. *SNI 01-2984-1998 Tentang Minuman Squash*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional. Hal. 1-5.
- Chandra, Budiman. 2006. *Pengantar Kesehatan Lingkungan*. EGC. Jakarta
- Chye, FY. Abdullah A, Ayob MK. 2004. *Bacteriological quality and safety of raw milk in Malaysia*. *Food Microbiol* 21 (5): 535-541.
- Eckless, G.H, W.B Combs and H.Macy. 1951. *Milk and Milk Products*. Mc Graw Hill Book C.O. New York.
- 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. 2011. *Fisika*, Jakarta: Erlangga.
- Gould, GW. 1995. *New Methodes Food Preservatief*. New York : Champman Hall.
- Gustiani, E. 2009. *Pengendalian cemaran mikroba pada bahan pangan asal ternak (daging dan susu) mulai dari perternakan sampai dihilangkan*. *J Litbang Pertanian* 28(3): 96-100.
- Hadiwiyoto, 1994. *Pengujian Mutu dan Susu Hasil Olahanya*. Yogyakarta: Liberty. Hal: 5.
- Jawetz, Melnik, Adelberg, 2012. *Medical Microbiology*. 25th ed. USA: Appleton & Lange.
- Jones, T.B, 1995, *Electromechanics pof Particles*. Cambridge University Press, New York.
- Judkins, H.F. & Keener, H.A. 1996. *Milk Production and Processing*. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- Kacaribu, R. 2011. *Pengaruh Pelapisan Dielektrik Minyak Pada Dielektrik Plastik Terhadap Tegangan Tembus AC*. Skripsi S1, Jurusan Teknik Elektro FT USU. Medan.
- Madigan, M.T., J.M. Martinko, and J.Parker. 2008. *Biology of Micro organisms*. 12th ed. New York: Pretice Hall International.
- Monday, S.R. and Bennet. 2003. *Staphylococcus aureus*. Di dalam: miliotis M.D. dan J.W. Bier. International Handbook of Foofborne Pathogenes. Marcel Dekker, New York.
- Riske, K. A., and Dimova, R., 2005, *Electro-deformation and poration of giant vesicles viewed with high temporal resolution*, *Biophys. J*, 88:1143-1155.
- Saville, D. A, 1997, *Electrohydrodynamic: the Taylor-Melcher leaky dielectric model*, *Annu. Rev. Fluid Mech*, 29:27-64.
- Shiddieqy, M. Ikhsan, (2004), *Memetik Manfaat Susu Sapi*, www.pikiranrakyat.com. Akses 04/09/2018.
- Susilorini, Tri Eko dan Manik Eirry Sawitri. 2006. *Produk olahan susu*. Depok: Penebar Swadya. Hal: 83.
- Sutrisno. 1979. *Fisika dasar seri gelombang dan optik*. Bandung: ITB.

Teissie, J. Escoffire J. M., Rols M. P., Golzio M., 2008, *Time dependence of electric field effect on cell membranes. A review for a critical selection of pulse duration for therapeutical applications*, *Radion Oncol* ; 42(4): 196-206

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

Valic, B. Golzio M., Pavlin M., Schatz A., Faurie C., Gabriel B., Tessie J., Rols M.P., Miklavc D., 2003, *Effect of electric field induced transmembrane potential on spherical cells: theory and experiment*, *EUR Biophys J* 32: 519-528.

Vlahovska, P.M., Gracia, S. Aranda-Espinoza, R.S., and Dimova, R., 2009, *Electrohydrodynamic model of vesicle deformation in alternating electric fields*, *Biophys. J.*, 96:4789:4803.

Voldman, J, 2006, *Electrical forces for microscale cell manipulation*, *Annu Rev, Biomed. Eng*, 8:425-454.

Wang, Zhao. 2009. *Electromagnetic field interaction with Biological Tissues and Cells*. London : University of London.

Wardhana, W. A. 2005. *Dampak Pencemaran Lingkungan*. Yogyakarta, Andi Yogyakarta.

The logo is a shield-shaped emblem with a light green background and a white border. It features the text "UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM" in a circular arrangement at the top and "PUSAT PERPUSTAKAAN" at the bottom. In the center, there is a yellow calligraphic design. The word "Lampiran" is written across the center in a bold, black, serif font.

Lampiran

Lampiran 1

Tabel 1 Data Jumlah Koloni Bakteri *Staphylococcus aureus*

Perlakuan		Jumlah Koloni Bakteri (Cfu/ml)			
Kontrol		49.8 x 10 ⁸ Cfu/ml			
E (kV/cm)	t (menit)	1	2	3	Rata - Rata
2 kV/cm	5	47,8 x 10 ⁸	45,8 x 10 ⁸	35,6 x 10 ⁸	43,06 x 10 ⁸
	10	44,0 x 10 ⁸	34,9 x 10 ⁸	29,2 x 10 ⁸	36,02 x 10 ⁸
	15	35,6 x 10 ⁸	30,7 x 10 ⁸	28,5 x 10 ⁸	31,6 x 10 ⁸
	20	32,5 x 10 ⁸	30,2 x 10 ⁸	27,3 x 10 ⁸	30,0 x 10 ⁸
	25	32,2 x 10 ⁸	28,5 x 10 ⁸	26,4 x 10 ⁸	29,03 x 10 ⁸
2,5 kV/cm	5	31,9 x 10 ⁸	27,4 x 10 ⁸	24,1 x 10 ⁸	27,8 x 10 ⁸
	10	31,5 x 10 ⁸	25,7 x 10 ⁸	21,3 x 10 ⁸	26,16 x 10 ⁸
	15	30,2 x 10 ⁸	25,4 x 10 ⁸	20,2 x 10 ⁸	25,16 x 10 ⁸
	20	29,2 x 10 ⁸	24,0 x 10 ⁸	20,1 x 10 ⁸	24,43 x 10 ⁸
	25	24,8 x 10 ⁸	22,1 x 10	20,0 x 10 ⁸	22,3 x 10 ⁸
3 kV/cm	5	20,3 x 10 ⁸	17,4 x 10 ⁸	15,3 x 10 ⁸	17,66 x 10 ⁸
	10	18,9 x 10 ⁸	16,9 x 10 ⁸	14,7 x 10 ⁸	16,83 x 10 ⁸
	15	17,7 x 10 ⁸	14,0 x 10 ⁸	13,6 x 10 ⁸	15,3 x 10 ⁸
	20	17,4 x 10 ⁸	12,9 x 10 ⁸	9,3 x 10 ⁸	13,2 x 10 ⁸
	25	16,4 x 10 ⁸	12,2 x 10 ⁸	9,2 x 10 ⁸	12,6 x 10 ⁸
3,5 kV/cm	5	14,7 x 10 ⁸	11,1 x 10 ⁸	7,7 x 10 ⁸	11,16 x 10 ⁸
	10	13,8 x 10 ⁸	6,6 x 10 ⁸	5,2 x 10 ⁸	8,53 x 10 ⁸
	15	10,8 x 10 ⁸	4,8 x 10 ⁸	3,8 x 10 ⁸	6,46 x 10 ⁸
	20	10,4 x 10 ⁸	4,5 x 10 ⁸	3,7 x 10 ⁸	6,2 x 10 ⁸
	25	10,1 x 10 ⁸	4,1 x 10 ⁸	3,1 x 10 ⁸	5,76 x 10 ⁸
4 kV/cm	5	9,2 x 10 ⁸	1,0 x 10 ⁸	1,5 x 10 ⁸	4,26 x 10 ⁸
	10	2,8 x 10 ⁸	1,0 x 10 ⁸	0,8 x 10 ⁸	1,53 x 10 ⁸
	15	1,2 x 10 ⁸	0,7 x 10 ⁸	0,4 x 10 ⁸	0,76 x 10 ⁸
	20	0,6 x 10 ⁸	0,3 x 10 ⁸	0	0,30 x 10 ⁸
	25	0,25 x 10 ⁸	0	0	0,25 x 10 ⁸

Lampiran 2

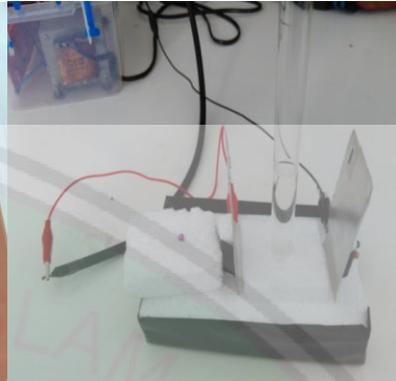
Tabel 2 Data Jumlah Penurunan Bakteri *Staphylococcus aureus* (Log)

Perlakuan		Jumlah Rata-Rata Koloni Bakteri (CFU/ml)	Penurunan Bakteri (log ₁₀)
Medan Listrik Kv/cm	Lama Paparan (menit)		
Kontrol		49,8 x 10 ⁸	
2 kV/cm	5	43,06 x 10 ⁸	0,063
	10	36,02 x 10 ⁸	0,14
	15	31,6 x 10 ⁸	0,20
	20	30,0 x 10 ⁸	0,22
	25	29,03 x 10 ⁸	0,23
2,5 kV/cm	5	27,8 x 10 ⁸	0,26
	10	26,16 x 10 ⁸	0,28
	15	25,16 x 10 ⁸	0,30
	20	24,43 x 10 ⁸	0,30
	25	2,3 x 10 ⁸	0,35
3 kV/cm	5	17,66 x 10 ⁸	0,45
	10	16,83 x 10 ⁸	0,48
	15	15,3 x 10 ⁸	0,52
	20	13,2 x 10 ⁸	0,58
	25	12,6 x 10 ⁸	0,60
3,5 kV/cm	5	11,16 x 10 ⁸	0,65
	10	8,53 x 10 ⁸	0,76
	15	6,46 x 10 ⁸	0,52
	20	6,2 x 10 ⁸	0,92
	25	5,76 x 10 ⁸	0,95
4 kV/cm	5	4,26 x 10 ⁸	1,096
	10	1,53 x 10 ⁸	1,522
	15	0,76 x 10 ⁸	1,823
	20	0,30 x 10 ⁸	2,221
	25	0,25 x 10 ⁸	3,299

Lampiran 3
Rangkaian Alat Medan Listrik Berpulsa



a. Rangkaian Medan Listrik



b. Sampel Percobaan



c. Laminar Air Flow



d. Inkubator



d. Pengenceran



e. Oskiloskop



LABORATORIUM PENGUJIAN MUTU DAN KEAMANAN PANGAN
(TESTING LABORATORY OF FOOD QUALITY AND FOOD SAFETY)
JURUSAN TEKNOLOGI HASIL PERTANIAN
FAKULTAS TEKNOLOGI PERTANIAN
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
Jl. Veteran, Malang 65145, Telp. (0341) 573358
[E-mail: labuji@pangan_thnub@yahoo.com](mailto:labuji@pangan.thnub@yahoo.com)

KEPADA : Meyldha Lukkyana Sari
UIN
MALANG

LAPORAN HASIL UJI
REPORT OF ANALYSIS

Nomor / Number : 1022/THP/LAB/2018
Nomor Analisis / Anlysis Number : 1022
Tanggal Penerbitan / Date of issue : 03 September 2018
Yang bertanda tangan di bawah ini menerangkan, bahwa hasil pengujian
The undersigned ratifies that examination
Dari contoh / of the sample (s) of : SUSU SAPI
Untuk analisis / For analysis :
Keterangan contoh / Description of sample :
Diambil dari / Taken from :
Oleh / By :
Tanggal penerimaan contoh / Received : 30 Agustus 2018
Tanggal pelaksanaan analisis / Date of analysis : 30 Agustus 2018
Hasil adalah sebagai berikut / Resulted as follows :

Kode	Lemak
2 kV/cm	3,60
2,5 kV/cm	3,55
3 kV/cm	3,43
3,5 kV/cm	3,32
4 kV/cm	3,29

HASIL PENGUJIAN INI HANYA BERLAKU UNTUK
CONTOH-CONTOH TERSEBUT DIATAS. PENGAMBIL
CONTOH BERTANGGUNG JAWAB ATAS KEBENARAN
TANDING IBRANI



Dr. Widyia Dwi Rukmi P., STP, MP
NIP. 19700504 199903 2 002



**KEMENTERIAN AGAMA RI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI (UIN)
MAULANA MALIK IBRAHIM MALANG
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI**

Jl. Gajayana No. 50 Dinoyo Malang (0341) 551345 Fax. (0341) 572533

BUKTI KONSULTASI SKRIPSI

Nama : MEYLDHA LUKKYANA SARI
NIM : 13640061
Fakultas/ Jurusan : Sains dan Teknologi/ Fisika
Judul Skripsi : Pengaruh Medan Listrik Berpuls Untuk Menghambat Pertumbuhan Bakteri *Staphylococcus aureus* Pada Susu Sapi
Pembimbing I : Dr. H. Mokhammad Tirono, M.Si
Pembimbing II : Erika Rani, M.Si

No	Tanggal	HAL	Tanda Tangan
1	26-01-2018	Konsultasi Bab I, II, III	
2	08-02-2018	Konsultasi Bab I, II, III, dan ACC	
3	16-08-2018	Konsultasi Data dan Pengolahan Data	
4	07-10-2018	Konsultasi Kajian Agama Bab I, II, dan IV	
5	09-10-2018	Konsultasi Bab IV dan V	
6	10-10-2018	Konsultasi Kajian Agama Bab I, II, IV, dan ACC	
7	10-10-2018	Konsultasi Bab IV, V, dan ACC	
8	15-10-2018	Konsultasi Semua Bab, Abstrak, dan ACC	
9	23-10-2018	ACC Keseluruhan	

Malang, 1 November 2018

Mengetahui,
Ketua Jurusan Fisika,

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