

**OPTIMASI PAPARAN MEDAN LISTRIK BERPULSA UNTUK
MENGHAMBAT PERTUMBUHAN BAKTERI *Escherichia coli*
PADA SUSU SAPI DAN PENGARUHNYA TERHADAP
KADAR PROTEIN**

SKRIPSI

Oleh:

ANIS CHOIRUN NISAK

NIM. 13640029



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

**OPTIMASI PAPARAN MEDAN LISTRIK BERPULSA UNTUK
MENGHAMBAT PERTUMBUHAN BAKTERI *Escherichia coli*
PADA SUSU SAPI DAN PENGARUHNYA TERHADAP
KADAR PROTEIN**

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:

**ANIS CHOIRUN NISAK
NIM. 13640029**

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

HALAMAN PERSETUJUAN

**OPTIMASI PAPARAN MEDAN LISTRIK BERPULSA UNTUK
MENGHAMBAT PERTUMBUHAN BAKTERI *Escherichia coli*
PADA SUSU SAPI DAN PENGARUHNYA TERHADAP
KADAR PROTEIN**

SKRIPSI

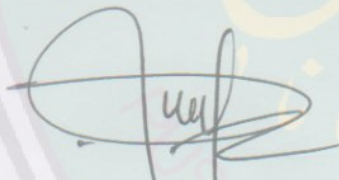
Oleh:

Anis Choirun Nisak

NIM. 13640029

Telah Diperiksa dan Disetujui untuk Diuji,
Pada Tanggal: 23 Agustus 2018

Pembimbing I,



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

Pembimbing II,



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

Mengetahui,

Ketua Jurusan Fisika



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

HALAMAN PENGESAHAN

OPTIMASI PAPARAN MEDAN LISTRIK BERPULSA UNTUK
MENGHAMBAT PERTUMBUHAN BAKTERI *Escherichia coli*
PADA SUSU SAPI DAN PENGARUHNYA TERHADAP
KADAR PROTEIN

SKRIPSI

Oleh:

Anis Choirun Nisak
NIM. 13640029

Telah Dipertahankan di Depan Dewan Penguji Skripsi dan
Dinyatakan Diterima Sebagai Salah Satu Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Sains (S.Si)
Tanggal 23 Agustus 2018

Penguji Utama	: <u>Farid Samsu Hananto, M.T</u> NIP. 19740513 200312 1 001	
Ketua Penguji	: <u>Muthmainnah, M.Si</u> NIDT. 19860325 20160801 2 074	
Sekretaris Penguji	: <u>Dr. H. Mokhammad Tirono, M.Si</u> NIP. 19641211 199111 1 001	
Anggota Penguji	: <u>Drs. Abdul Basid, M.Si</u> NIP. 19650504 199003 1 003	



Mengesahkan,
Ketua Jurusan Fisika

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

PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Anis Choirun Nisak

NIM : 13640029

Jurusan : Fisika

Fakultas : Sains dan Teknologi

Judul Penelitian : Optimasi Paparan Medan Listrik Berpuls untuk Menghambat Pertumbuhan Bakteri *Escherichia coli* pada Susu Sapi dan Pengaruhnya terhadap Kadar Protein.

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 mempertanggungjawabkan, serta diproses sesuai peraturan yang berlaku.

Malang, 23 Agustus 2018
Yang Membuat Pernyataan



Anis Choirun Nisak
NIM. 13640029

MOTTO

Endhek wiwitane, dhuwur wekasane



HALAMAN PERSEMBAHAN

Skripsi ini saya persembahkan untuk suami saya H. Masyfu' Zuhdy, kedua orang tua saya H. Khusnan dan Hj. Sriwati, putri kecil saya yang masih di dalam kandungan, serta keluarga saya tercinta Maulana Afif Badruddin, Muhammad Syafi'uddin dan Ni'matul Ummah yang telah memberikan semangat, do'a, motivasi, nasihat dan kasih sayang serta semua pengorbanannya.

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Puji syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT atas berkat rahmat, taufiq, serta hidayah-Nya, penulis dapat menyelesaikan penyusunan skripsi ini. Sholawat serta salam semoga senantiasa tercurahkan kepada nabi kita, Nabi Muhammad SAW.

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

1. Prof. Dr. 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 sekaligus Dosen Pembimbing Integrasi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang yang senantiasa meluangkan waktu, nasehat dan pikirannya sehingga dapat melancarkan dalam proses penyusunan skripsi.
4. Dr. H. Mokhammad Tirono, M.Si selaku Dosen Pembimbing Jurusan Fisika Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
5. Farid Samsu Hananto, M.T dan Muthmainnah, M.Si selaku Dosen Penguji Jurusan Fisika Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
6. Segenap Dosen, Laboran, dan Admin Jurusan Fisika Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
7. Suami tercinta H. Masyfu' Zuhdy yang senantiasa mendampingi dalam proses penyusunan skripsi.
8. Kedua orang tua H. Khusnan dan Hj. Sriwati, serta Maulana Afif Badruddin, Ni'matul Ummah dan M. Syafi'uddin yang telah memberikan dukungan serta selalu mendo'akan di setiap langkah penulis.

9. Indri Indah Fitriyani S.Si, Dian Rosalia Difitri, S.Si, Faza Nuzulun N.U, S.Si, Neny Avindha, S.Si, Zuhriyatul Umroh, S.Si, dan Dewi Dwi Hapsari, S.Si yang senantiasa menemani dan memberikan keceriaan selama menempuh pendidikan di Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
10. Atul Handayani, S.Si, Fithriyah, S.Si, dan M. Anas Mubarak, S.Si yang telah membantu dalam proses penyusunan skripsi.
11. Meyldha Lukyana Sari dan M. Barun Nadzir yang telah membantu dalam proses pengambilan data.
12. Teman-teman biofisika yang telah membantu dalam proses penelitian.
13. Teman-teman Jurusan Fisika Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang angkatan 2013.
14. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu, yang telah banyak membantu dalam menyelesaikan skripsi ini.

Semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat, tambahan ilmu dan memberikan inspirasi kepada para pembaca. Aamiin.

Wassalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.

Malang, 23 Agustus 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
ABSTRACT	xvi
مستخلص	xvii
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Tujuan Penelitian	5
1.4 Batasan Masalah	5
1.5 Manfaat Penelitian	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Pembangkitan Medan Listrik	6
2.2 Medan Listrik pada Keping Sejajar	8
2.3 Polarisasi Elektronik	14
2.4 Potensial Transmembran pada Bakteri	17
2.5 Interaksi Medan Listrik dengan Bakteri	18
2.6 Efek Biologis Bakteri yang dipapari Medan Listrik	19
2.7 Susu Sapi	22
2.8 Bakteri	23
2.8.1 Struktur Bakteri	24
2.8.2 Bakteri <i>Escherichia coli</i>	25
2.9 Protein	26
2.9.1 Struktur Protein	28
2.9.2 Penilaian Mutu Protein	28
BAB III METODE PENELITIAN	
3.1 Jenis Penelitian	30
3.2 Waktu dan Tempat Penelitian	30
3.3 Alat dan Bahan	30
3.4 Desain Rangkaian Alat	31
3.5 Rancangan Penelitian	31
3.6 Langkah-Langkah Penelitian	32
3.6.1 Penumbuhan Bakteri	32
3.6.2 Penumbuhan Bakteri pada Susu	32

3.6.3 Paparan Medan Listrik	33
3.6.4 Penghitungan Bakteri	33
3.7 Pengukuran Kadar Protein	34
3.8 Teknik Pengumpulan Data.....	34
3.9 Teknik Analisis Data.....	35
BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN	
4.1 Data Hasil Penelitian.....	36
4.1.1 Pengaruh Paparan Medan Listrik Berpulsa terhadap Log Penurunan Jumlah Koloni Bakteri	36
A. Data Hasil Penelitian.....	36
B. Analisis.....	37
4.1.2 Pengaruh Lama Paparan Medan Listrik Berpulsa terhadap Log Penurunan Jumlah Koloni Bakteri	40
A. Data Hasil Penelitian.....	40
B. Analisis.....	41
4.1.3 Pengaruh Paparan Medan Listrik Berpulsa terhadap Kadar Protein pada Susu Sapi	46
A. Data Hasil Penelitian.....	46
B. Analisis.....	47
4.2 Pembahasan.....	48
4.3 Integrasi.....	50
BAB V PENUTUP	
5.1 Kesimpulan	53
5.2 Saran.....	54
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Dua medan listrik sederhana yang dipetakan dengan garis gaya...	8
Gambar 2.2 Kapasitor keping sejajar	10
Gambar 2.3 Interaksi saling tolak menolak pada medan listrik bermuatan sama	11
Gambar 2.4 Gaya tarik menarik antara dua muatan listrik berbeda.....	12
Gambar 2.5 Keping sejajar dengan dan tanpa dielektrik	14
Gambar 2.6 Bakteri <i>Escherichia coli</i>	25
Gambar 3.1 Desain Rangkaian Alat.....	31
Gambar 3.2 Alur Rancangan Penelitian.....	31
Gambar 4.1 Plot Analisis Penurunan Jumlah Koloni Bakteri <i>Escherichia coli</i> setelah dipapari Medan Listrik selama 5 menit	37
Gambar 4.3 Plot Analisis Penurunan Jumlah Koloni Bakteri <i>Escherichia coli</i> setelah dipapari Medan Listrik selama 15 menit	38
Gambar 4.4 Plot Analisis Penurunan Jumlah Koloni Bakteri <i>Escherichia coli</i> setelah dipapari Medan Listrik selama 25 menit	38
Gambar 4.5 Grafik Hubungan Variasi Kuat Medan Listrik terhadap Penurunan Jumlah Koloni Bakteri <i>Escherichia coli</i>	39
Gambar 4.6 Plot Analisis Penurunan Jumlah Koloni Bakteri <i>Escherichia coli</i> setelah dipapari Medan Listrik sebesar 2 kV/cm.....	42
Gambar 4.6 Plot Analisis Penurunan Jumlah Koloni Bakteri <i>Escherichia coli</i> setelah dipapari Medan Listrik Berpulsa sebesar 3 kV/cm.....	42
Gambar 4.7 Plot Analisis Penurunan Jumlah Koloni Bakteri <i>Escherichia coli</i> setelah dipapari Medan Listrik Berpulsa sebesar 4 kV/cm.....	43
Gambar 4.8 Grafik Hubungan Variasi Lama Paparan terhadap Penurunan Jumlah Koloni Bakteri <i>Escherichia coli</i>	44
Gambar 4.9 Grafik Hubungan Kuat Medan Listrik terhadap Kadar Protein pada Susu Sapi	47

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Data Hasil Pengamatan.....	35
Tabel 4.1 Pengaruh Kuat Paparan Medan Listrik Berpulsa terhadap Penurunan Jumlah Koloni Bakteri <i>Escherichia coli</i>	36
Tabel 4.2 Pengaruh Lama Paparan Medan Listrik Berpulsa terhadap Penurunan Jumlah Koloni Bakteri <i>Escherichia coli</i>	40
Tabel 4.3 Data Hasil Pengukuran Kadar Protein pada Susu Sapi yang Belum dan Telah Dipapari Medan Listrik Berpulsa	46



DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN 1. Data Hasil Penelitian

LAMPIRAN 2. Data Hasil Penurunan Jumlah Koloni Bakteri

LAMPIRAN 3. Proses Penelitian



ABSTRAK

Choirun Nisak, Anis. 2018. **Optimasi Paparan Medan Listrik Berpulsa untuk Menghambat Pertumbuhan Bakteri *Escherichia coli* pada Susu Sapi dan Pengaruhnya terhadap Kadar Protein.** Skripsi. Jurusan Fisika Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang. Pembimbing (I): Dr. H. Mokhammad Tirono, M.Si.; Pembimbing (II) Abdul Basid, M.Si

Kata Kunci: Medan Listrik, Waktu, *Escherichia coli*, Susu Sapi, Kadar Protein.

Susu sapi merupakan media yang mudah terkontaminasi oleh bakteri *Escherichia coli*. Berbagai teknologi untuk menjaga kualitas pangan dan mampu menginaktivasi bakteri telah banyak dilakukan. Teknologi yang ada sering kali menggunakan metode pemanasan dan kimiawi sehingga dapat menyebabkan kerusakan kadar protein dalam susu sapi. Penelitian dilakukan untuk mengetahui nilai minimum medan listrik dan waktu optimum untuk menurunkan jumlah koloni bakteri *Escherichia coli* pada susu sapi segar sekaligus kadar proteinnya. Metode yang dilakukan adalah dengan memapari sampel dengan medan listrik berpulsa, kemudian dihitung jumlah bakteri dan kadar protein. Data yang diperoleh dianalisis menggunakan grafik. Hasil analisis menunjukkan bahwa lama paparan optimum untuk menonaktifkan bakteri *Escherichia coli* pada $E = 2$ kV/cm adalah 70 menit, pada $E = 3$ kV/cm adalah 67 menit, dan pada $E = 4$ kV/cm adalah 27 menit. Sedangkan kuat medan listrik (E) yang dibutuhkan pada paparan selama 5 menit adalah $E = 4,62$ kV/cm, pada paparan selama 15 menit adalah $E = 4,36$ kV/cm, dan pada paparan selama 25 menit adalah $E = 4,27$ kV/cm. Paparan medan listrik berpulsa dengan kombinasi waktu tidak mempengaruhi kadar protein pada susu. Hasil analisis menunjukkan kadar protein rata-rata yaitu 2,45%.

ABSTRACT

Choirun Nisak, Anis. 2018. **Optimization of Exposure to Pulsed Electric Fields to Inhibit *Escherichia coli* Bacterial Growth in Fresh Cow's Milk and Its Effect on Protein Levels.** Research. Department of Physics Faculty of Science and Technology State Islamic University of Maulana Malik Ibrahim at Malang. Counselor: (I) Dr. H. Mokhammad Tirono, M.Si (II) Drs. Abdul Basid, M.Si

Keywords: Electric Field, Time, *Escherichia coli* Bacteria, Cow's Milk, Protein Level.

Cow's milk is a easily medium contaminated by *Escherichia coli* bacteria. Various of technologies to maintain food quality and able to inactivate bacteria have been done. Existing technology often uses method with high voltage or temperature that can cause damage to protein levels in cow's milk. The research was conducted to determine the minimum value of electric field and optimum time to decrease the amount of colony of *Escherichia coli* bacteria in fresh cow's milk as well as its protein content. The method is to show the sample with a pulsed electric field with a combination of electric field strength and time, then calculated the number of bacteria and protein levels. Data obtained in bacterial counts and protein levels were analyzed by using graphs. The results showed that optimum exposure time to inactivate *Escherichia coli* bacteria at $E = 2$ kV/cm is 70 min, at $E = 3$ kV/cm is 67 min, and at $E = 4$ kV/cm is 27 min. While the electric field strength (E) required for exposure for 5 min is $E = 4,62$ kV/cm, at exposure for 15 min is $E = 4,36$ kV/cm, and at exposure for 25 min is $E = 4,27$ kV/cm. Exposure to pulsed electric fields with a combination of time does not affect protein levels in milk. The results showed an average protein content of 2,45%.

الملخص

خير النساء، أنيس. 2018 . تحسین التعرض للمجالات الكهربائية النبضية لتنشيط نمو البكتيرية الإشريكية القولونية في حليب البقر الطازج وأثرها على مستويات البروتين. البحث العلمي. قسم الفيزياء كلية العلوم والتكنولوجيا جامعة مولانا مالك إبراهيم الإسلامية الحكومية مالانج. المشرف الأول الدكتور الحاج محمد تيرانا، الماجستير، المشرف الثاني عبد البسيط، الماجستير.

كلمات البحث: الحقل الكهربائي ، الوقت ، البكتيرية الإشريكية القولونية، حليب البقر ، مستوى البروتين.

حليب البقر هو وسيلة تلوثه البكتيرية الإشريكية القولونية بسهولة وقد تمارس تقنيات مختلفة للحفاظ على جودة الغذاء وتقدر على تعطيل البكتيرية على نطاق واسع. غالبًا ما تستخدم التقنية طريقة ذات فولتية عالية أو درجة حرارة عالية حتى تسبب ضررًا لمستويات البروتين في حليب البقر. أجري البحث لمعرفة الحد الأدنى لقيمة الحقل الكهربائي والوقت الأمثل لتقليل كمية مستعمرة البكتيرية الإشريكية القولونية في حليب البقر الطازج وكذلك قدر البروتين. أجريت الطريقة بإظهار العينة مع حقل كهربائي نابض مع مزيج من شدة الحقل الكهربائي والوقت ، ثم تحسب الباحثة عدد عدد البكتيرية والبروتين. الباحث تحلل البيانات التي تحصل عليها في عدد البكتيرية ومستويات البروتين باستخدام الرسوم البيانية. دلت نتائج التحليل أن الوقت الأمثل للتعرض لإبطال نشاط البكتيرية الإشريكية القولونية عند $E = 2 \text{ kV / cm}$ هو 70 دقيقة ، عند $E = 3 \text{ kV / cm}$ هو 67 دقيقة ، وعند 4 kV / cm هو 27 دقيقة. في حين أن شدة المجال الكهربائي (E) المطلوبة للتعرض لمدة 5 دقائق هي $E = 4,62 \text{ kV / cm}$ ، عند التعرض لمدة 15 دقيقة هي $E = 4,36 \text{ kV / cm}$ سم ، وعند التعرض لمدة 25 دقيقة هي $E = 4,27 \text{ kV / cm}$ لا يؤثر التعرض للحقل الكهربائي النبضي مع عدد من الوقت على مستويات البروتين في الحليب. دلت نتائج البحث على متوسط قدر البروتين بنسبة 2,45٪.

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sektor peternakan menjadi salah satu sektor bisnis yang sedang berkembang serta menjanjikan akibat semakin meningkatnya pertumbuhan penduduk. Permintaan terhadap komoditi peternakan semakin meningkat seiring bertambahnya kesadaran masyarakat akan pentingnya gizi seimbang bagi kesehatan. Salah satu komoditi peternakan yang sedang berkembang pesat adalah susu sapi. Produk susu sapi segar selain dapat dijumpai dalam bentuk ‘curah’ juga dapat dijumpai dalam bentuk kemasan siap minum yang praktis.

Susu sapi segar merupakan salah satu sumber protein hewani yang penting bagi kesehatan, dalam produksinya susu sapi segar tidak ditambahkan komponen apapun (murni). Susu sapi segar termasuk bahan organik yang mudah terkontaminasi dan merupakan bahan yang berpotensi menjadi sarana penyebaran bakteri. Beberapa faktor penyebab susu sapi segar terkontaminasi diantaranya adalah tempat produksi yang kurang steril, pengemasan yang kurang standar dan pasteurisasi yang tidak sempurna sehingga menyebabkan bakteri mudah masuk dalam susu. Kontaminasi pada susu berpengaruh pada kualitas susu sapi sehingga mempengaruhi lama penyimpanan susu sapi yang dihasilkan. Hal tersebut membuat kerugian bagi produsen susu akibat permintaan masyarakat akan susu sapi segar dengan mutu yang terjaga serta aman dikonsumsi tanpa terkontaminasi oleh apapun.

Mikro organisme yang banyak dijumpai pada susu sapi yang terkontaminasi diantaranya adalah *Streptococcus lactis*, *Aerobacter aerogenes*, *Lactobacillus casei* dan *Lactobacillus acidophilus* dan bakteri sanitasi *Escherichia coli* (Jawets dan Adelberg's, 2001). Bakteri *Escherichia coli* merupakan bakteri indikator sanitasi, dimana kehadirannya dalam susu sapi dikarenakan sistem produksi dan pengemasan yang kurang steril. Apabila bakteri *Escherichia coli* mengkontaminasi makanan dan air minum, maka akan menimbulkan penyakit pencernaan seperti diare.

Penelitian yang dilakukan oleh Widianti dan Ristiati (2004), tentang keberadaan bakteri *Escherichia coli* pada produk pangan menunjukkan bahwa produk tersebut tercemar oleh feses. Bakteri *Escherichia coli* umumnya hidup di dalam usus manusia pada jumlah tertentu untuk membantu pencernaan, namun apabila bakteri *Escherichia coli* dalam tubuh melebihi jumlah tertentu dapat menimbulkan penyakit seperti diare. Pencemaran mikro organisme pada susu sapi segar di wilayah Jawa Timur mencapai 3-4 juta mikro organisme/ml, sedangkan berdasarkan Standar Nasional Indonesia (SNI) untuk jumlah mikro organisme pada susu sapi segar tidak boleh melebihi 1 juta mikro organisme/ml.

Allah SWT secara tersirat telah memerintahkan manusia untuk selalu memperhatikan makanan dan minuman yang hendak dikonsumsi. Sebagaimana firman Allah SWT dalam Surat ‘Abasa ayat 24 yang berbunyi:

فَلْيَنْظُرِ الْإِنْسَانُ إِلَى طَعَامِهِ

“Maka hendaklah manusia itu memperhatikan makanannya.” (QS. ‘Abasa: 24)

Ayat diatas menjelaskan bahwa manusia diperintahkan untuk selalu memperhatikan makanan dan minumannya. Oleh karena itu, manusia perlu memperhatikan kebersihan, kesehatan, mutu kehalalan makanan dan minuman yang dikonsumsi. Sebagaimana firman Allah SWT dalam Surat Al-Maidah ayat 88 yang berbunyi:

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

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

Manusia diperintahkan untuk mengkonsumsi makanan dan minuman yang *halalan thayyiban* dan harus berhati-hati dalam memilih makanan dan minuman yang akan dikonsumsi. Makanan dan minuman yang jelas kehalalannya sudah dipastikan kebersihan dan kesehatannya sehingga aman dari penyakit, oleh karenanya perlu dilakukan upaya untuk menjaga mutu makanan dan minuman melalui proses produksi hingga pengemasan standar dan steril.

Peningkatan mutu produk susu sapi segar dapat dilakukan dengan metode pengemasan yang higienis dan sesuai standar seperti proses pasteurisasi termal, *Ultra High Temperature* (UHT) dan sonikasi. Pengemasan susu sapi menggunakan metode pasteurisasi termal adalah memanaskan susu sapi dengan suhu 80 °C, akan tetapi pengemasan tersebut hanya mampu menghambat pertumbuhan spora dalam susu dan tidak mampu mematikan spora yang mempunyai sifat tahan terhadap suhu tinggi, sedangkan untuk metode pengemasan susu UHT menggunakan suhu tinggi mencapai 135 °C dengan waktu pemanasan yang sangat singkat, pemanasan yang terlalu tinggi mampu mengurangi zat gizi yang terkandung pada susu.

Metode sonikasi menjadi salah satu metode pengemasan yang dinilai ramah lingkungan, yaitu metode pengemasan susu dengan cara memapari susu dengan gelombang ultrasonik, akan tetapi dikarenakan alatnya yang sangat mahal membuat biaya produksi semakin bertambah. Sehingga harga jual susu sapi menjadi lebih mahal. Oleh karena itu perlu adanya alternatif pengawetan susu sapi dengan biaya operasional yang murah dan mudah diaplikasikan.

Fang *et al* (1997) berhasil mengembangkan metode baru untuk mengatasi permasalahan tersebut, yaitu melalui teknologi pengawetan pangan tanpa melibatkan panas namun berupa teknologi medan listrik berpulsa (*pulsed electric field*). Medan listrik berpotensi dalam penonaktifan bakteri atau mikroba. Menurut Bestari (2015) yang telah melakukan pemaparan medan listrik untuk menghambat pertumbuhan biofilm *Listeria monocytogenes* menunjukkan bahwa pada kuat medan listrik sebesar 3,5 kV/cm selama 25 menit dengan suhu lingkungan 50 °C mampu menghambat pertumbuhan bakteri dengan jumlah koloni sebesar $0,2 \times 10^8$ CFU/ml.

Tirono (2013) melakukan penelitian tentang penghambatan perkembangbiakan bakteri menggunakan medan listrik untuk menghambat pertumbuhan bakteri *Klebsiella pneumonia* dengan variasi jarak antar elektrode antara 2-26 cm. Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin besar jarak antar elektrode maka semakin kecil kuat medan listriknya. Pada jarak 2 cm menghasilkan kuat medan listrik 4,9 kV/cm dengan faktor hambat 0,99

sedangkan pada jarak 26 cm menghasilkan kuat medan listrik 0,31 kV/cm dengan faktor hambatan 0,3. Penghambatan bakteri tersebut didasarkan pada efek terjadinya elektroporasi pada membran sel bakteri. Elektroporasi dapat terjadi akibat medan listrik yang mampu menggeser muatan pada sel bakteri sehingga terpolarisasi. Polarisasi muatan yang terjadi menyebabkan terbentuknya pori hidrofilik yang mampu menimbulkan aliran materi intraseluler dan peningkatan tegangan pada transmembran yang mampu menimbulkan kerusakan membran sel pada bakteri.

Penelitian tentang inaktivasi *Salmonella typhimurium* dan *Staphylococcus aureus* dengan medan listrik berpulsa pada cairan telur pada penelitian Monfort (2010) menunjukkan hasil inaktivasi maksimum dari bakteri *Salmonella typhimurium* dan *Staphylococcus aureus* pada paparan 45 kV/cm, 30 μ s, 419 kJ/kg, dan 40 kV, 15 μ s, 166 kJ/kg dengan penurunan jumlah populasi sampai 4 dan 3 log Cycles.

Penggunaan medan listrik perlu dilakukan sebagai upaya mencari alternatif pengemasan susu sapi yang aman dan mudah diaplikasikan. Selain itu, perlu dilakukan penelitian untuk mencari konsumsi medan listrik berpulsa yang optimal dalam mematikan bakteri susu. Berdasarkan penjelasan di atas, maka akan dilakukan penelitian tentang “**Optimasi Paparan Medan Listrik Berpulsa untuk Menghambat Pertumbuhan Bakteri *Escherichia coli* pada Susu Sapi**” sebagai upaya alternatif sanitasi makanan dan pengawetan sumber pangan.

1.2 Rumusan Masalah

1. Berapa medan listrik yang dapat digunakan untuk menghambat pertumbuhan bakteri *Escherichia coli* pada susu sapi?
2. Berapa waktu yang diperlukan untuk menurunkan jumlah koloni bakteri *Escherichia coli* pada susu sapi?
3. Bagaimana pengaruh medan listrik terhadap kadar protein susu sapi?

1.3 Tujuan Penelitian

1. Mengetahui nilai minimum medan listrik yang diperlukan untuk menghambat pertumbuhan bakteri *Escherichia coli* pada susu sapi.
2. Mengetahui waktu optimum yang diperlukan untuk menurunkan jumlah koloni bakteri *Escherichia coli* pada susu sapi.
3. Mengetahui pengaruh medan listrik terhadap kadar protein susu sapi.

1.4 Batasan Masalah

1. Penelitian ini menggunakan salah satu bakteri yang biasa terdapat pada susu yaitu *Escherichia coli*.
2. *Escherichia coli* 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. Susu yang digunakan sebagai sampel merupakan susu sapi yang baru diperah, diambil langsung dari Jurusan Peternakan Politeknik Pembangunan Pertanian Desa Bedali Kecamatan Lawang Kabupaten Malang.
6. Medan listrik yang diberikan antara 2,5–4 kV/ml.

1.5 Manfaat Penelitian

1. Memberi informasi tentang energi alternatif dalam menghambat pertumbuhan bakteri *Escherichia coli* pada susu sapi segar dengan menggunakan metode pemaparan medan listrik berpulsa.
2. Mengatasi pencemaran bakteri pada makanan dan minuman dengan cara yang mudah diaplikasikan dan efisien sehingga aman untuk dikonsumsi.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pembangkitan Medan Listrik

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

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

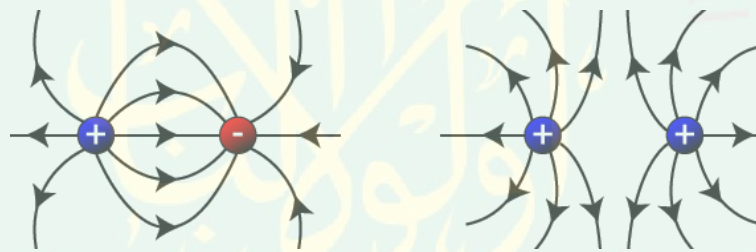
Medan adalah suatu yang mempunyai harga pada tiap titik dalam ruang. Secara matematis, medan merupakan sesuatu fungsi kontinu dari posisi dalam ruang. Temperatur dalam ruang adalah suatu medan, yaitu medan temperatur karena mempunyai harga pada tiap titik dalam ruang. Besaran medan dalam hal ini adalah saklar, sehingga medan temperatur adalah medan saklar. Sedangkan medan listrik merupakan daerah atau ruang di sekitar benda yang bermuatan listrik dimana jika sebuah benda bermuatan lainnya diletakkan pada daerah itu masih mengalami gaya elektrostatis (Sutrisno, 1979).

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

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

Makna tersirat di dalam surat Yunus ayat 61 dan surat Saba' ayat 34, Al-Quran sejak abad 15 yang lalu telah mengisyaratkan bahwa dzarrah atau atom itu berukuran kecil. Memang tidak secara eksplisit (dengan tegas) dinyatakan seberapa kecilnya ukuran atom itu, tapi tersirat bahwa atom itu walaupun kecil ada ukurannya.

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



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

Dua plat sejajar yang masing-masing diberi muatan positif dan negatif, medan listrik terbesarnya berada diantara kedua plat. Sementara itu untuk pembangkitan medan listrik dapat dilakukan dengan cara memberi beda potensial di 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.

2.2 Medan Listrik pada Keping Sejajar

Kapasitor adalah komponen elektronika yang dapat menyimpan muatan listrik. Struktur sebuah kapasitor terbuat dari dua buah plat metal yang dipisahkan oleh suatu bahan dielektrik. Bahan-bahan dielektrik yang umum dikenal misalnya udara vakum, keramik, gelas dan lain-lain. Jika kedua ujung

plat metal diberi tegangan listrik maka muatan-muatan positif akan mengumpul pada salah satu kaki (elektroda) metalnya dan pada saat yang sama muatan-muatan negatif terkumpul pada ujung metal yang satu lagi. Muatan positif tidak dapat mengalir menuju ujung kutub negatif dan sebaliknya muatan negatif tidak bisa menuju ke ujung positif, karena terpisah oleh bahan dielektrik yang non-konduktif. Muatan elektrik ini tersimpan selama tidak ada konduksi pada ujung-ujung kakinya.

Kapasitor merupakan komponen elektronika yang terdiri dari dua konduktor yang berdekatan tetapi terisolasi satu sama lain dan membawa muatan yang sama besar dan berlawanan. Salah satu sifat kapasitor adalah dapat menyimpan dan mengosongkan muatan listrik. Kapasitor yang digunakan pada umumnya adalah kapasitor keping sejajar yang menggunakan dua keping konduktor sejajar. Kepingan tersebut dapat berupa lapisan-lapisan logam tipis yang terpisah dan terisolasi satu sama lain. Ketika kepingan terhubung pada piranti yang bermuatan misalnya baterai, muatan akan dipindahkan dari satu konduktor ke konduktor lainnya sampai beda potensial antara kutub positif (+) dan kutub negatif (-) sama dengan beda potensial antara kutub positif (+) dan kutub negatif (-) baterai. Muatan (Q) yang dipindahkan tersebut sebanding dengan beda potensial (Tipler, 1991). Firman Allah di dalam Surat Yasin ayat 36 yang berbunyi:

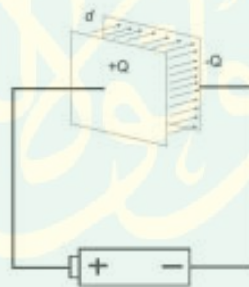
سُبْحٰنَ الَّذِيْ خَلَقَ الْاَزْوَاجَ كُلَّهَا مِمَّا تُنْبِتُ الْاَرْضُ وَمِنْ اَنْفُسِهِمْ وَمِمَّا لَا يَعْلَمُوْنَ

“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.” (QS. Yasin: 36)

Berbagai pendapat mengenai penafsiran ayat ini banyak yang beranggapan bahwa Allah menciptakan segala sesuatu dengan bermacam-macam bentuk. Namun, dari kata bermacam-macam dapat diartikan dengan berpasangan-pasangan. Dalam kalimat menciptakan pasangan-pasangan semuanya pada umumnya bermakna laki-laki dan perempuan, terang dan gelap, siang dan malam, hitam dan putih. Akan tetapi, terdapat pada kalimat “maupun dari apa

yang mereka tidak ketahui” yaitu pasangan elektron dan positron. Positron ditulis dengan simbol e^+ dan elektron ditulis 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.

Sistem yang digunakan pada rangkaian listrik sangat banyak, salah satunya kapasitor. Umumnya kapasitor terdiri dari dua plat sejajar. Hampir pada setiap elektronika seperti radio, televisi, dan penguat lainnya, kehadiran medan listrik di sekitar bahan mengakibatkan atom-atom pada bahan membentuk momen-momen dipol listrik. Banyaknya momen-momen dipol listrik persatuan volume bahan disebut polarisasi. Untuk menghasilkan medan listrik E yang kuat dari suatu kapasitor keping sejajar, yang terdiri dari dua keping yang sama luasnya dan terpisah dengan jarak d , maka jarak d harus lebih kecil dibandingkan dengan panjang lebar keping (Tipler, 1991).



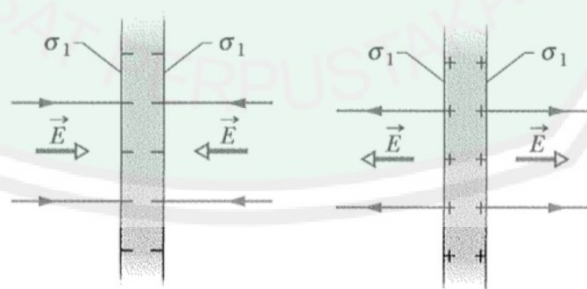
Gambar 2.2 Kapasitor keping sejajar dan arah medan listrik kapasitor keping sejajar (Tipler, 1991)

Sebagian besar kapasitor memiliki ruang antar kedua plat yang diisi dengan bahan isolator. Ini dilakukan agar harga kapasitansi mempunyai harga besar, sedangkan ukuran kapasitor cukup kecil. Dalam bahan isolator sempurna, tidak ada muatan bebas. Semua elektron terikat erat pada masing-masing atom. Bila bahan isolator ditaruh di dalam medan listrik, dalam bahan akan terbentuk dipol listrik, sehingga pada permukaan bahan akan terjadi muatan induksi. Bahan isolator juga disebut bahan dielektrik, terutama bila kita membicarakannya dari

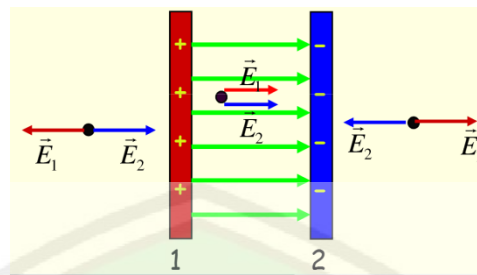
segi muatan induksi yang ditimbulkan di dalam medan listrik. Bila kita memahami sifat dielektrik, akan mudah kita memahami sifat bahan magnetik pula, karena ada analogi yang sangat dekat dalam pengertian kedua bahan ini (Sutrisno, 1979).

Salah satu sistem yang digunakan pada rangkaian listrik adalah kapasitor. Pada umumnya kapasitor terdiri dari dua plat sejajar. Setiap perangkat elektronika seperti komputer, lemari es, mesin cuci dan lainnya, kehadiran medan listrik di sekitar bahan mengakibatkan atom-atom pada bahan membentuk momen-momen dipol listrik. Polarisasi adalah banyaknya momen-momen dipol listrik persatuan volume bahan. Medan listrik E yang kuat dari suatu kapasitor keping sejajar yang terdiri dari dua keping yang sama sama luasnya dan terpisah dengan jarak d , maka jarak d harus lebih kecil dibandingkan dengan panjang dan lebar keping (Tipler, 1991).

Bilamana dua plat sejajar yang masing-masing diberi muatan positif dan negatif, maka medan listrik terbesar ada di antara kedua plat. Sementara itu untuk pembangkitan medan listrik dapat dilakukan dengan cara memberi beda potensial antara dua plat, maka akan semakin tinggi kuat medan listriknya dan semakin jauh jarak antara kedua plat maka akan semakin rendah kuat medan listriknya (Tipler, 1991).



Gambar 2.3 Interaksi saling tolak menolak pada medan listrik dengan muatan yang sama (Tipler, 1991)



Gambar 2.4 Gaya tarik menarik antara dua muatan listrik yang berbeda (Tipler, 1991)

Gambar 2.4 menjelaskan bahwa pada dua keping sejajar yang mempunyai muatan listrik sama, tetapi berlawanan jenisnya, antara kedua keping tersebut terdapat medan listrik homogen. Di luar kedua keping juga terdapat medan listrik yang sangat kecil jika dibandingkan dengan medan listrik di antara kedua keping, sehingga dapat diabaikan.

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 (muatan negatif menolak muatan uji negatif) (Bueche, 2006).

Jika plat A diberi muatan $+Q$ dan plat B bermuatan $-Q$. Kuat medan listrik oleh plat A adalah E_A dan oleh plat B adalah 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 E_A dan E_B , yaitu $E_A + E_B$, yaitu $E = E_A + E_B$ (Sutrisno, 1979).

Di sebelah kanan plat A kuat medan oleh plat A adalah $E_A = +\tau \frac{a}{2\epsilon_0}$, sedangkan di sebelah kiri kuat medan $E_A = -\tau \frac{a}{2\epsilon_0}$ (berarah ke kiri). Kuat medan oleh plat B di sebelah kanan plat B adalah $E_B = -\tau \frac{a}{2\epsilon_0}$ dan di sebelah kiri $E_B = +\tau \frac{a}{2\epsilon_0}$. Jadi kuat medan listrik resultan di sebelah kiri plat sejajar haruslah:

$$E = E_a + E_B = -\tau \frac{a}{2\epsilon_0} + \tau \frac{a}{2\epsilon_0} = 0 \quad (2.2)$$

Di dalam plat sejajar, kuat medan adalah:

$$E = E_B + E_A = +\frac{a}{2\epsilon_0} + \frac{a}{2\epsilon_0} = +\tau \frac{a}{2\epsilon_0} \quad (2.3)$$

Di sebelah kanan plat sejajar adalah:

$$E = E_A + E_B = +\tau \frac{a}{2\epsilon_0} - \tau \frac{a}{2\epsilon_0} = 0 \quad (2.4)$$

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

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

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. Syarat Hubungan C_0 dan C harus sama adalah (Giancoli, 2011):

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

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.

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

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

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

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

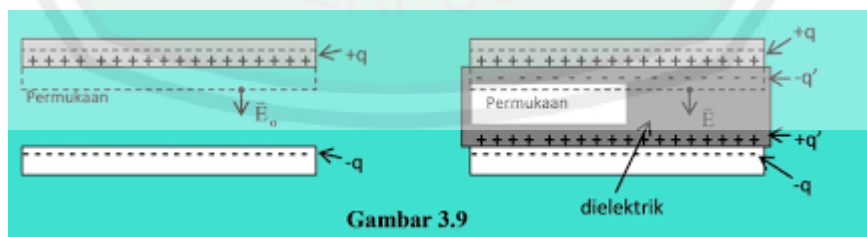
$$E = \frac{\epsilon_0 V}{k d} \quad (2.12)$$

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

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 $E = K \cdot \frac{\Delta V}{d}$ dimana V dalam persamaan tersebut merupakan terjadinya perubahan beda potensial listrik serta hubungan antara medan listrik dengan konstanta dielektrik (Giancoli, 2011).

2.3 Polarisasi Elektronik

Bahan dielektrik bukan bahan konduktif, pada 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. 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 berbeda (Raju, 2003).



Gambar 2.5 Keping sejajar dengan dan tanpa dielektrik, dengan menganggap bahwa muatan q pada plat plat adalah sama (Aranda, 2008).

Bila tidak ada dielektrik maka dengan Hukum Gauss akan diperoleh (Aranda, 2008):

$$\epsilon_0 \int E \cdot dS = \epsilon_0 E_0 A = q \quad (2.14)$$

atau

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

Jika ada dielektrik maka dengan hukum Gauss akan diperoleh:

$$\epsilon_0 \int E \cdot dS = \epsilon_0 EA = q - q' \quad (2.16)$$

atau

$$E = \frac{q}{\epsilon_0 A} - \frac{q'}{\epsilon_0 A'} \quad (2.17)$$

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, terlihat bahwa $A=A'$. Pada persamaan sebelumnya telah dituliskan:

$$\epsilon_r = \frac{E_0}{E} \text{ atau } E = \frac{E_0}{\epsilon_r} \quad (2.18)$$

Dengan memasukkan nilai E_0 pada persamaan 2.14 ke persamaan ini maka diperoleh:

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

Dengan rumus baru ini maka persamaan 2.19 dapat dituliskan menjadi:

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

atau

$$q' = q\left(1 - \frac{1}{\epsilon_r}\right) \quad (2.20b)$$

Persamaan (2.20) dapat pula dituliskan menjadi:

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

Suku pertama merupakan kuantitas pergeseran listrik D atau,

$$D = \frac{q}{A} \quad (2.22)$$

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

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

Jika demikian persamaan 2.20 dapat dituliskan dalam bentuk

$$D = \epsilon_0 E - P \quad (2.24)$$

Atau dalam bentuk vektor dituliskan menjadi

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

Dengan membandingkan persamaan 2.18 dengan persamaan 2.21 maka dapat dituliskan vektor pergeseran listrik sebagai fungsi dari medan listrik.

$$D = \epsilon_r \epsilon_0 E \quad (2.26)$$

Dengan mensubstitusikan persamaan 2.25 ke persamaan 2.24 maka dituliskan pula pernyataan vektor polarisasi sebagai fungsi dari medan listrik yaitu:

$$P = \epsilon_0 (\epsilon_r - 1) E \quad (2.27)$$

Sebelumnya telah dituliskan Hukum Gauss dengan adanya bahan dielektrik yaitu:

$$\varepsilon_0 \int E \cdot dS = q - q' \quad (2.28)$$

Dengan mensubstitusikan q' dari persamaan 2.20b ke persamaan di atas maka diperoleh:

$$\varepsilon_r \varepsilon_0 \int E \cdot dS = q \quad (2.29)$$

Atau dapat dituliskan menjadi

$$\int D \cdot dS = q \quad (2.30)$$

2.4 Potensial Transmembran pada Bakteri

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

$$\Delta\varphi_{memb} = 1,5E_{app} \cos \theta \quad (2.31)$$

E_{app} adalah kuat medan yang dikenakan pada sel 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., et al., 2003)

$$\Delta\varphi_{memb} = 1,5 a E_{app} \cos \theta / (1 + (\omega\tau)^2)^{1/2} \quad (2.32)$$

Dimana

$$\tau = aC_{memb}(\rho_{in} + \rho_{ext}/2) \quad (2.33)$$

$\omega = 2\pi f$ 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. Potensial transmembran maksimal diinduksikan medan listrik bolak-balik dalam bentuk $E_{APP} = E_{APP}^{\circ} \sin \omega t$ dengan E_{APP}° adalah amplitudo medan dan t adalah waktu, maka (Valic B., et al, 2003).

$$\Delta\phi_{max} = 1,5 aE_{app}/1 + (\omega\tau)^2)^{1/2} \quad (2.34)$$

Rumusan ini digunakan pada medan listrik bolak-balik, dimana jika $\omega \ll 1/\tau$, maka identik dengan dipapar menggunakan medan DC. Bilamana medan listrik AC diganti dengan medan listrik berpulsa akan menyebabkan terjadinya elektroporasi dan tegangan transmembrannya memenuhi persamaan (Teissie J. et al., 2008).

$$\Delta\phi = 1,5 aE \cos \theta (1 - \exp(-t/\tau)) \quad (2.35)$$

$$\tau = aC(r_1 + r_e/2) \quad (2.36)$$

Dimana E adalah kuat medan listrik, a radius sel, τ waktu atom terpolarisasi penuh atas waktu relaksasi, t durasi pulsa, C kapasitansi membran, r_1 dan r_e berturut-turut adalah resistansi intra dan ekstra seluler (Teissie J. et al., 2008).

2.5 Interaksi Medan Listrik dengan Bakteri

Sel secara biologis akan menunjukkan perilaku saat diinduksi medan listrik AC pada berbagai frekuensi (Vlahovska et al, 2009). Medan listrik dengan frekuensi rendah berpengaruh pada sinyal sel (Voldman, 2006). Sedangkan medan listrik yang memiliki frekuensi tinggi dapat menyebabkan kecacatan pada sel. Untuk memahami mekanisme fisik interaksi medan listrik dengan sel, maka diasumsikan bahwa sel adalah partikel dielektrik bocor dari bentuk bola (Jones, 1998).

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 et al, 2009 telah mengembangkan sebuah teori analitik untuk menjelaskan transmisi bentuk yang diamati pada vesikel saat diinduksikan oleh medan listrik AC. Berdasarkan pengamatan Aranda et al, 2008, medan listrik dapat mengubah vesikel ke *ellipsoidal* yang *prolate* atau *oblate* tergantung pada frekuensi yang digunakan. 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*.

Lapisan *lipid bilayer* sebagai permukaan dengan kapasitansi dan konduktivitas $G_m = \lambda_m/h$ dimana ϵ_m, λ_m, 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 et al, 2009).

Pada saat membran sel dikenai medan listrik AC dengan amplitudo (Jones, 1998):

$$E^\infty = E_0 \cos(\omega t) \quad (2.37)$$

Dimana ω adalah frekuensi angular dan t adalah waktu, maka cairan di sekitar membran, ion-ion bebas akan bergerak sejajar dengan medan listrik (Setiabudi, 2007). Muatan bebas, ion, cenderung menumpuk di permukaan membran sehingga media cairan yang mempunyai sifat listrik yang berbeda.

2.6 Efek Biologis Bakteri yang Dipapari Medan Listrik

Terdapat beberapa teori dari pakar medis yang menjelaskan tentang terjadinya kematian sel bakteri karena pengaruh dari medan listrik. Salah satu dari teori tersebut menyebutkan bahwa membran sel adalah *viscoelastic fluid*

sehingga membran dapat mengalami ruptur apabila mendapatkan stress listrik. Ketika diberikan listrik dengan tegangan tertentu, akan terjadi peningkatan energi pada membran yang kemudian dapat meningkatkan ukuran *pore* membran dan berubah menjadi *hydrophilic pore* dimana difusi bebas dapat terjadi (Bueche, 2006).

Paparan medan listrik berpulsa pada bakteri penyusun biofilm menyebabkan pergeseran muatan pada atom atau molekul, dimana yang bermuatan negatif akan bergeser ke arah elektroda positif dan sebaliknya, sehingga muatan negatif dan positif menjadi terpisah dan terbentuk dipol. Pergeseran muatan ini membuat potensial transmembran meningkat dan di sisi yang lain menurun. Ketika penipisan membran terjadi terlalu kuat, sedangkan membran bersifat homogen padat, maka akan menyebabkan terjadinya ruptur membran yang *irreversible* (Bueche, 2006).

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

Peningkatan potensial transmembran pada sel membran *lipid bilayer* dan protein akan mempengaruhi regangan 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. Sehingga pada akhirnya akan menimbulkan lubang-lubang kecil dan kontraksi sehingga cairan tubuh keluar (Fang et al., 2007).

Berdasarkan beberapa teori yang ada terdapat salah satu teori yang paling dapat diterima secara luas yaitu teori elektroporasi yang parah (pembentukan lubang pada membran sel yang disebabkan oleh listrik tegangan tinggi), dimana terjadi instabilitas lokal pada membran mikroorganisme yang diberi aliran listrik (berakibat kompresi elektrokimia dan tekanan energi listrik) (Fang et al., 2007).

Proses elektroporasi dapat dijelaskan sebagai pengaruh medan listrik terhadap dinding membran sel (lipoprotein) yang dapat mengakibatkan distabilisasi 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 hidrofilik. Pada kondisi potensial transmembran meningkat maka dapat mengakibatkan kebocoran pada membran *lipid bilayer* (Fang *et al*, 2007).

Energi per pulsa (W') dihitung oleh persamaan berikut (Setiabudi, 2007):

$$W' = \frac{1}{\rho} \int_0^{\infty} I(t) V(t) dt \quad (2.38)$$

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.

$$\log_{10} \frac{N_t}{N_0} = -\left(\frac{W}{\delta}\right)^{\rho} \quad (2.39)$$

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 log10 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 ($\rho > 1$).

$$X = a - (be^{-e^{c(E-d)}}) \quad (2.40)$$

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

$$\log_{10} \frac{N_t}{N_0} = -\left(\frac{w}{a\delta - (b\delta e^{-e^{c(E-d)}})}\right)^{\rho} a_{\rho} - (b_{\rho} e^{-e^{c\rho(E-d)}}) \quad (2.41)$$

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 .

2.7 Susu Sapi

Susu merupakan salah satu hasil sekresi kelenjar ambing atau *mamae* dalam ternak. Susu ini diperoleh dari pemerahan ambing mamalia yang sehat dan mengandung lemak, protein, laktosa serta berbagai jenis garam dan vitamin. Susu adalah cairan yang bergizi tinggi, baik untuk manusia maupun hewan muda dan cocok untuk media tumbuh mikroorganisme karena menyediakan berbagai nutrisi (Susilorini dan Sawitri, 2007).

Berdasarkan Milk Codex tahun 1914, susu adalah susu sapi yang tidak ditambahkan ataupun dikurangi sesuatu dari padanya, diperoleh dengan jalan pemerahan sapi yang sehat secara teratur, sempurna, dan tidak terputus-putus. Pemerahan yang sempurna adalah mengikuti metode dan petunjuk pemerahan sebagaimana lazimnya, agar susu dalam ambing dapat keluar sampai habis (Mughtar, 2006).

Susu merupakan makanan pelengkap dalam diet manusia sehari-hari dan merupakan makanan utama bagi bayi. Ditinjau dari komposisi kimianya, susu merupakan minuman bergizi tinggi karena mengandung hampir semua jenis zat gizi yang diperlukan tubuh manusia sehingga baik untuk dikonsumsi (Wahyudi, 2006).

Menurut Adnan (1984), susu merupakan bahan pangan yang tersusun oleh zat-zat makanan yang seimbang. Susu dan produk olahannya merupakan sumber utama kalsium serta protein dan mineral yang berkualitas tinggi. Susu menyediakan 75% kebutuhan kalsium. Susu beserta produk-produk olahan lainnya merupakan salah satu kebutuhan pokok bagi negara-negara maju. Semakin tinggi tingkat kehidupan dan kesejahteraan bangsa, semakin besar pula tingkat konsumsi susu dan produk olahannya (Kasmianti dan Harmayani, 2002).

Susu adalah produk berupa cairan putih yang dihasilkan oleh hewan ternak mamalia dan diperoleh dengan cara pemerahan. Sifat susu yang perlu diketahui

adalah bahwa susu merupakan media yang baik sekali bagi pertumbuhan mikrobia, sehingga apabila penanganannya tidak baik akan dapat menimbulkan penyakit yang berbahaya. Susu yang baik apabila mengandung jumlah bakteri sedikit, tidak mengandung spora mikrobia patogen, bersih yaitu tidak mengandung debu atau kotoran lainnya, mempunyai cita rasa yang baik dan tidak dipalsukan (Hadiwiyoto, 1983).

Susu merupakan makanan yang hampir sempurna, karena kandungan nutrisinya yang lengkap dan cukup untuk memenuhi kebutuhan hidup pokok manusia (Buckle *et al.*, 1987).

2.8 Bakteri

Bakteri merupakan organisme prokariotik. Umumnya ukuran bakteri sangat kecil, bentuk tubuh bakteri baru dapat dilihat menggunakan mikroskop dengan pembesaran 1.000 kali atau lebih (Waluyo, 2004).

Bakteri, dari kata lain *bacterium* (jamak, *bacteria*), adalah kelompok terbanyak dari organisme hidup. Mereka sangat kecil (mikroskopik) dan kebanyakan uniseluler (bersel tunggal), dengan struktur sel yang relatif sederhana tanpa nukleus atau inti sel, sitoskeleton, dan organel lain seperti mitokondria dan kloroplas. Struktur sel mereka dijelaskan lebih lanjut dalam artikel mengenai prokariota, untuk membedakan mereka dengan organisme yang memiliki sel lebih kompleks disebut eukariota. Istilah “bakteri” telah diterapkan untuk semua prokariota atau untuk kelompok besar mereka, tergantung pada gagasan mengenai hubungan mereka (Chapman, 2002).

Bakteri adalah yang paling berkelebihan dari semua organisme. Mereka tersebar di tanah dan air, dan sebagai simbiosis dari organisme lain. Biasanya hanya berukuran 0,5-5 μm . Mereka umumnya memiliki dinding sel, seperti hewan dan jamur, tetapi dengan komposisi yang sangat berbeda (peptidoglikan). Banyak yang bergerak menggunakan flagela, yang berbeda dalam strukturnya dari flagela kelompok lain (Chapman, 2002).

Bakteri termasuk dalam golongan prokariota yaitu merupakan bentuk sel yang paling sederhana yang memiliki ukuran dengan diameter dari 1 hingga 10

4m. Ciri yang membedakan prokariotik dengan eukariotik adalah inti sel dimana sel prokariotik tidak mempunyai membran inti sel atau nukleus yang jelas. Bakteri mempunyai 2 bagian struktur yaitu struktur dasar dan struktur tambahan (Champbell, 2002)

Struktur dasar (dimiliki oleh hampir semua jenis bakteri) meliputi membran sel, membran plasma, sitoplasma, ribosom, DNA, dan granula penyimpanan. Struktur tambahan (dimiliki oleh jenis bakteri tertentu) meliputi kapsul, flageum, pilus (pili), klorosom, vakuola gas dan endospora (Champbell, 2002).

2.8.1 Struktur Bakteri

Struktur dasar yang dimiliki hampir semua jenis bakteri meliputi dinding sel, membran plasma, sitoplasma, ribosom, DNA, dan granula penyimpanan (Yatim dan Aryani, 1980).

1. Dinding sel

Kebanyakan bakteri mempunyai dinding sel, dinding sel tersebut terdiri dari berbagai bentuk dan ukuran. Dinding sel ini berfungsi sebagai pertahanan bakteri agar dapat bertahan hidup dalam lingkungannya serta mempertahankan tekanan osmotik bakteri. Isi sel berupa protoplasma dan membran plasma.

2. Membran plasma

Membran sitoplasma amatlah penting karena mengendalikan lalu lalangnya substansi kimiawi dalam larutan, masuk ke dalam dan keluar sel. Sangat menakjubkan bahwa sel mikroskopis, mengapung seperti itu dalam lingkungan kimiawi yang sangat kompleks dan selalu berubah, mampu mengambil dan menahan *nutrient* dalam jumlah yang sesuai dan membuang kelebihan *nutrient* dan produk-produk buangnya.

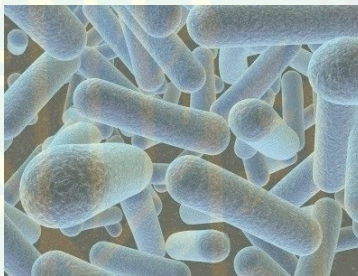
3. Sitoplasma (cairan sel)

Sitoplasma merupakan cairan yang mengisi sel yang mengandung berbagai zat yang koloid. Terdapat ada organel-organel yang melayang-layang dalam cairan kental. Koloid sitoplasma bukan merupakan cairan

yang serba sama (homogen), melainkan cairan yang beraneka ragam (heterogen). Koloid ini terdiri dari air, senyawa organik yaitu protein, gula, lemak, enzim, hormon, dan garam mineral. Sitoplasma berfungsi sebagai tempat berlangsungnya reaksi metabolisme sel.

2.8.2 Bakteri *Escherichia coli*

Escherichia coli yaitu bakteri anaerob fakultatif gram negatif berbentuk batang yang termasuk dalam famili *enterobacteriaceae*. Bakteri ini merupakan penghuni normal usus, selain berkembang biak di lingkungan sekitar manusia. Pertama dijumpai pada tahun 1885 (Arisman, 2009).



Gambar 2.6 Bakteri *Escherichia coli* (Pelezar, 1986)

Klasifikasi bakteri *Escherichia coli* adalah sebagai berikut (Todar, 2008):

Kingdom	: Bacteria
Filum	: Proteobacteria
sKelas	: Gamma Proteobacteria
Ordo	: Enterobacteriales
Famili	: Enterobacteriaceae
Genus	: Escherichia
Spesies	: Escherichia coli

Bakteri *Escherichia coli* merupakan jasad indikator dalam substrat air dan bahan makanan yang mampu memfermentasikan laktosa pada temperatur 37°C dengan membentuk asam dan gas di dalam waktu jam. Bakteri ini berpotensi patogen karena pada keadaan tertentu dapat menyebabkan diare (Pelezar, 1986).

Sel *Escherichia coli* memiliki ukuran panjang 2,0-6,0 tersusun tunggal berpasangan. *Escherichia coli* tumbuh pada suhu 10–40°C dengan suhu optimum 37°C. Bakteri ini mempunyai pH optimum untuk pertumbuhannya adalah 7,0-7,5. Bakteri ini sangat sensitif terhadap panas dan dapat diinaktifkan pada suhu pasteurisasi (Supardi dan Sukanto, 1999).

Bakteri *Escherichia coli* termasuk ke dalam bakteri anaerobik fakultatif yang artinya bakteri ini secara terbatas dapat hidup dalam keadaan aerobik ataupun anaerobik serta merupakan bakteri gram negatif dan dapat bertahan hingga suhu 60°C selama 15 menit atau pada 55°C selama 60 menit (Pelezar, 1986).

Escherichia coli yang umumnya menyebabkan diare terjadi di seluruh dunia. Pelekatan pada sel epitel usus kecil atau usus besar sifatnya dipengaruhi oleh gen dalam plasmid. Sama halnya dengan toksin yang merupakan plasmid atau *phage mediated* (Berg, 2002).

2.9 Protein

Protein berasal dari kata *proteos* (utama atau pertama) merupakan senyawa makromolekul yang memiliki peranan penting pada setiap makhluk hidup. Protein adalah salah satu polipeptida dengan bobot molekul yang sangat bervariasi, dari 5000 hingga lebih dari satu juta. Protein memiliki beberapa fungsi diantaranya sebagai enzim, zat pengatur pergerakan, pertahanan tubuh, alat pengangkut dan lain-lain tergantung sepenuhnya pada struktur 3-dimensional protein tersebut (Berg, 2002).

Ada beberapa jenis protein yang sangat peka terhadap perubahan lingkungannya. Apabila konformasi molekul protein berubah, misalnya oleh perubahan suhu, pH atau karena terjadi suatu reaksi dengan senyawa lain, ion-ion logam, maka aktivitas biokimiawinya berkurang. Perubahan konformasi ilmiah menjadi konformasi tidak menentu merupakan suatu proses yang tidak menentu yang disebut denaturasi (Poedjiadji, 2009).

Protein yang diperlukan organisme dapat diklasifikasikan menjadi dua golongan utama, ialah pertama protein sederhana, yaitu protein yang apabila

terhidrolisis hanya menghasilkan asam amino, tetapi menghasilkan juga komponen organik ataupun komponen anorganik, yang disebut gugus prostetik (Sumarno, 2002).

Pada umumnya protein mengandung 16 nitrogen dan dengan fakta ini dapat ditentukan jumlah protein dalam makanan atau dalam tubuh setelah dengan cara kimia ditentukan jumlah nitrogennya. Dalam keadaan normal, pada orang dewasa biasanya terdapat keseimbangan nitrogen artinya terdapat kesamaan antara jumlah nitrogen yang dikonsumsi tubuh dengan yang diekskresikan, cara lain untuk menentukan kualitas protein dalam makanan adalah dengan menentukan nilai kimia atau skor protein dalam makanan tertentu. Nilai ini dibandingkan dengan nilai kimia protein standar atau protein teoretik yang ditentukan memiliki susunan asam amino esensial ideal bagi tubuh manusia (Poedjiadji, 2009).

Konsentrasi protein diukur berdasarkan atas *optical density* pada panjang gelombang tertentu untuk mengetahui banyaknya protein dalam larutan. Protein dengan garam fosfopungsat pada suasana alkalis akan memberikan warna biru yang intensitasnya tergantung pada konsentrasi protein tertera (Poedjiadji, 2009).

Kurva standar adalah kurva kalibrasi dari sederet larutan standar larutan-larutan itu. Larutan itu sebaiknya mempunyai komposisi cuplikan. Hasil tidak penah didasarkan pada literatur absorptivitas molar (Poedjiadji, 2009).

Protein pada setiap bahan kadarnya berbeda-beda. Pengukuran kadar protein suatu bahan sangat diperlukan karena erat kaitannya dengan tingkat konsumsi manusia. Pengukuran kadar protein dengan metode Lowry adalah dasar dari penggunaan spektrofotometer. Warna biru yang terjadi oleh pereaksi Ciocalteau disebabkan reaksi antara protein dan Cu dalam larutan alkalis dan terjadi reaksi garam fosfopungsat dan garam fosmo liddat oleh tirosin dan triptopan (Poedjiadji, 2009).

Protein merupakan makromolekul polipeptida yang tersusun dari sejumlah asam-asam amino yang dihubungkan oleh ikatan peptida dan mempunyai bobot molekul 5000 sampai berjuta-juta. Satu molekul protein disusun oleh sejumlah

asam amino tertentu dengan susunan tertentu pula dan bersifat turunan (Poedjiadji, 2009).

2.9.1 Struktur Protein

Berdasarkan strukturnya, protein dibentuk oleh (Bintang, 2010):

1. Struktur primer, dibentuk oleh ikatan peptida antar asam amino. Struktur ini mengacu pada jumlah, jenis, serta urutan asam amino yang membentuk rantai polipeptida.
2. Struktur sekunder, dibentuk oleh ikatan hidrogen intramolekular yang terjadi di antara oksigen karbonil dan nitrogen amida pada perangkat peptida.
3. Struktur tersier, merupakan rangkaian molekular yang menggambarkan bentuk keseluruhan dari protein.
4. Struktur kuartener dibentuk oleh beberapa polipeptida yang berikatan satu sama lain tidak secara kovalen.

2.9.2 Penilaian Mutu Protein

Mutu protein dalam berbagai bahan makanan dapat diukur dengan beberapa cara (Bintang, 2010):

1. Nilai Biologis

Nilai biologis adalah perbandingan antara jumlah asam-asam amino yang dapat ditahan (retensi) oleh tubuh (untuk sintesis protein tubuh) dengan jumlah asam-asam amino yang dapat diserap oleh usus halus.

$$NB = \frac{\text{Nitrogen ditahan}}{\text{Nitrogen diabsorpsi}} = \frac{N \text{ makanan} - (N \text{ urin} - N \text{ feses})}{N \text{ makanan} - N \text{ feses}} \quad (2.42)$$

2. *Net Protein Utilization* (NPU)

Net Protein Utilization (NPU) adalah perbandingan antara jumlah asam-asam amino yang dapat ditahan oleh tubuh dengan jumlah protein yang dikonsumsi.

$$NPU = NB \times \text{Koefisien cerna} \quad (2.43)$$

3. *Protein Efficiency Ratio* (PER)

PER adalah perbandingan antara pertambahan berat badan dengan jumlah protein yang dikonsumsi

$$PER = \frac{\text{Penambahan berat badan (gram)}}{\text{Konsumsi Protein (gram)}} \quad (2.44)$$

4. Skor Kimia (*Chemical Score*)

Skor kimia adalah cara menetapkan mutu protein dengan membandingkan kandungan asam amino esensial dalam bahan makanan dengan kandungan asam amino esensial yang sama dalam protein patokan/ideal.

$$\text{skor kimia} = \frac{\text{mg asam amino yang diuji} \times 100}{\text{mg asam amino yang sama per gram protein patokan}} \quad (2.45)$$



BAB III METODOLOGI

3.1 Jenis Penelitian

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

3.2 Waktu dan Tempat Penelitian

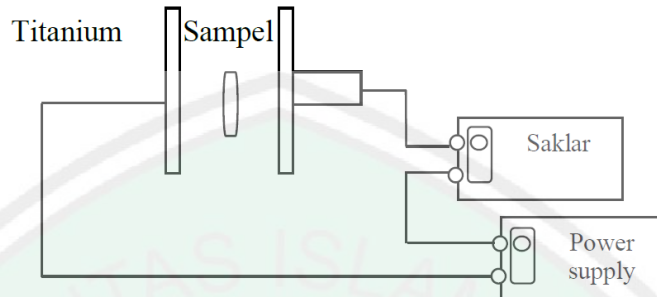
Penelitian akan dilaksanakan pada bulan Maret–Juli 2018. Tempat penelitian dilakukan di Laboratorium Termodinamika, Laboratorium Akustik, dan Laboratorium Riset Material Jurusan Fisika, Laboratorium Biokimia Jurusan Kimia Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang, serta Laboratorium Pengujian Mutu dan Keamanan Pangan Fakultas Teknologi Pertanian Universitas Brawijaya Malang.

3.3 Alat dan Bahan

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah set medan listrik, kateter, mikropipet 1 buah, cawan petri 27 buah, jarum oose 1 buah, erlenmeyer 250 ml 2 buah, tabung reaksi 4 buah, LAF (Laminar Air Flow) 1 unit, vortex, bunsen 1 buah, kapas 1 pack, tisu 1 pack, timbangan analitik 1 buah, hot plate, stirrer, inkubator 1 buah, plastik wrap 1 buah, aluminium foil 1 buah, spertus, korek api, gelas ukur 50 ml 1 buah, blue tip 100 buah, pinset 1 buah, beaker glass 2 buah, botol flakon 60 buah, autoklaf 1 buah, botol semprot 1 buah, colony counter.

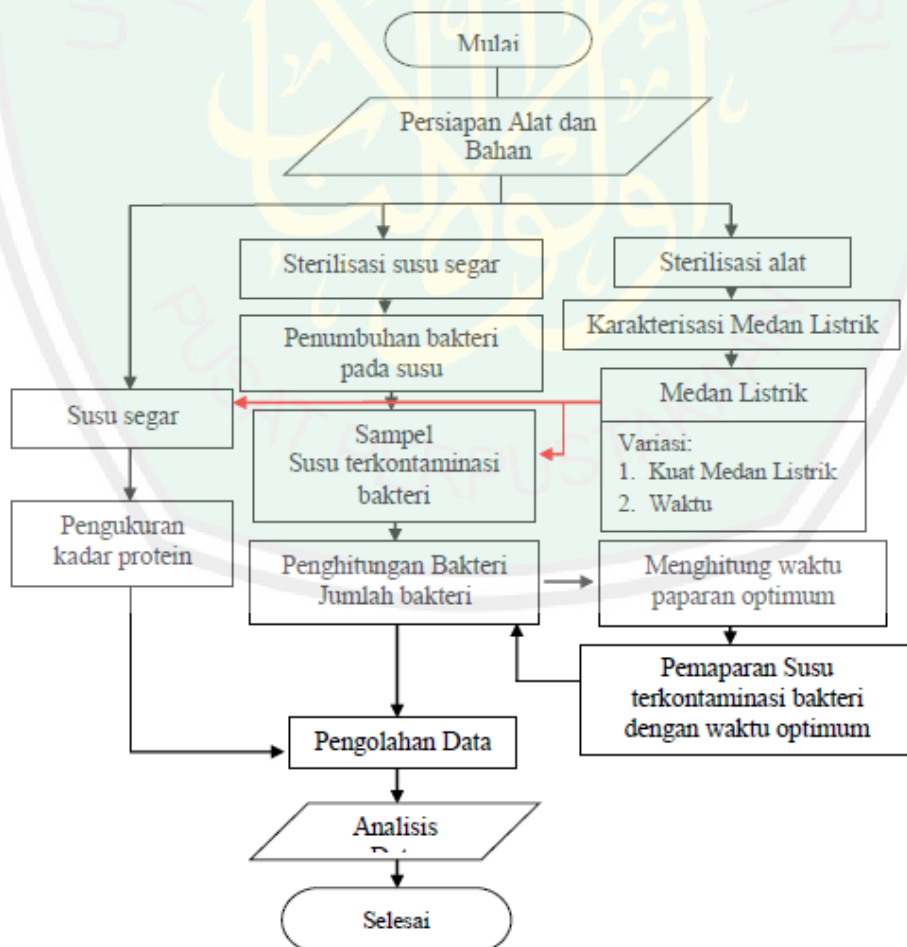
Pada penelitian ini bahan yang digunakan adalah: bakteri *Escherichia coli*, aquades, media NA (Nutrien Agar), alkohol, dan susu sapi murni sebagai media uji.

3.4 Desain Rangkaian Alat



Gambar 3.1 Desain Rangkaian Alat

3.5 Rancangan Penelitian



Gambar 3.2 Alur Rancangan Penelitian

Penelitian ini adalah penelitian eksperimen laboratorik dengan pendekatan *Post Test Control Group Design*. Sampel penelitian adalah bakteri yaitu *Escherichia coli*. Penentuan bakteri dilakukan dengan mempertimbangkan bahwa bakteri tersebut banyak tumbuh pada susu.

Deaktivasi bakteri *Escherichia coli*, dilakukan menggunakan medan listrik berpulsa dan temperatur 30⁰C. Medan listrik berpulsa dihasilkan dari *power supply* tegangan tinggi dan disambungkan ke saklar, 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 protein 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 *Escherichia coli* antara lain:

1. Sterilisasi alat dengan cara dibungkus dengan plastik tahan panas kemudian dimasukkan ke dalam autoklaf.
2. Diambil 1 ose biakan murni bakteri *Escherichia coli* 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 *Escherichia coli* 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 incubator dengan suhu 37⁰C.

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) dipapar dengan medan listrik.
2. Dilakukan perhitungan jumlah bakteri yang masih hidup dan kandungan protein 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 energi listrik.

3.6.4 Penghitungan Bakteri

Langkah-langkah untuk menghitung bakteri *Escherichia coli* 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. Seterusnya sampai diperoleh perhitungan yang sesuai.
5. Dilakukan semua proses diatas secara aseptis yaitu di dekat api bunsen.
6. Diambilkan 1 ml aquades yang ada bakterinya dan dituang pada cawan petri yang sudah berisi media PCA.
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 kadar protein.

3.7 Pengukuran Kadar Protein

Setelah dilakukan pemaparan dengan medan listrik dilakukan pengukuran kadar protein susu dengan langkah sebagai berikut :

1. Sampel didestruksi (dihancurkan) dengan asam sulfat pekat dan dikatalis dengan selenium untuk mempercepat proses oksidasi sehingga menghasilkan amonium sulfat $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$.
2. Pada tahap destilasi, amonium sulfat dipecah menjadi ammonia dengan penambahan basa sampai alkalis dan dipanaskan. Ammonia yang dibebaskan ditangkap oleh asam klorida (HCl) yang berlebihan hingga suasana/keadaan menjadi asam. Untuk mengeceknya digunakan indikator pp.
3. Selanjutnya dititrasi dengan NaOH (0,1 N) dimana ditandai dengan tempat perubahan warna larutan menjadi merah muda dan tidak hilang selama 30 detik menggunakan indikator pp. Setelah diperoleh % N lalu dihitung kadar proteinnya dengan mengalikan suatu faktor. Besarnya faktor perkalian N menjadi protein, tergantung dengan persentase N yang menyusun protein dalam susu. Kemudian hasil data dianalisis secara deskriptif dan dalam bentuk grafik.

3.8. Teknik Pengumpulan Data

Teknik pengumpulan data untuk menentukan pengaruh paparan medan listrik terhadap pertumbuhan bakteri dilakukan dengan cara menghitung jumlah bakteri *Escherichia coli* yang masih hidup sebelum dan sesudah dipapari medan listrik.

Tabel 3.1 Data Hasil Pengamatan

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

3.9 Teknik Analisis Data

Analisis deskriptif, dihitung jumlah bakteri *Escherichia coli* 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, dan diplot dalam bentuk grafik. Dengan demikian dapat diketahui kebutuhan energi listrik untuk deaktivasi bakteri *Escherichia coli*.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Hasil Penelitian

Medan listrik berpulsa dengan power supply 20 kV yang disambungkan pada saklar, selanjutnya dihubungkan pada plat sejajar. Penelitian ini menggunakan isolat murni bakteri *Escherichia coli* yang dicampurkan pada susu sapi segar kemudian diinkubasi selama 24 jam. Pemaparan menggunakan medan listrik berpulsa sebesar 2 kV/cm, 2,5 kV/cm, 3 kV/cm, 3,5 kV/cm, 4 kV/cm secara berkala selama 5 menit, 10 menit, 15 menit, 20 menit dan 25 menit. Jumlah bakteri *Escherichia coli* dihitung menggunakan persamaan (Jones, 2006):

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

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

$$\text{Penurunan Jumlah Koloni Bakteri} = -\log\left(\frac{N_t}{N_0}\right) \quad (4.2)$$

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

4.1.1 Pengaruh Paparan Medan Listrik Berpulsa terhadap Penurunan Jumlah Koloni Bakteri *Escherichia coli* pada Susu Sapi

A. Data Hasil Penelitian

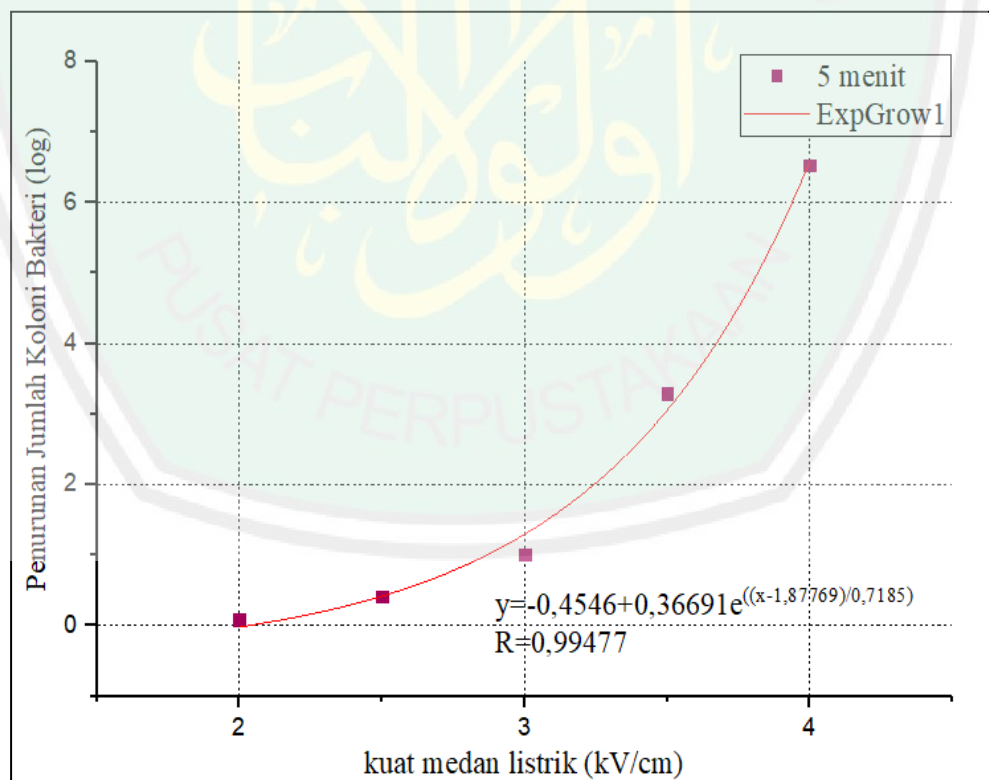
Tabel 4.1 Pengaruh Kuat Paparan Medan Listrik Berpulsa terhadap Penurunan Jumlah Koloni Bakteri *Escherichia coli*

Kuat Medan Listrik (kV/cm)	Penurunan Jumlah Koloni Bakteri (Log)				
	5 menit	10 menit	15 menit	20 menit	25 menit
Kontrol	9,3				
2 kV/cm	0,09	0,32	0,51	0,81	1,13
2,5 kV/cm	0,41	0,88	1,15	1,65	1,9
3 kV/cm	1,01	1,39	1,56	1,95	2,38
3,5 kV/cm	3,29	3,93	4,65	5,03	5,91
4 kV/cm	6,53	7,71	8,52	9,3	9,3

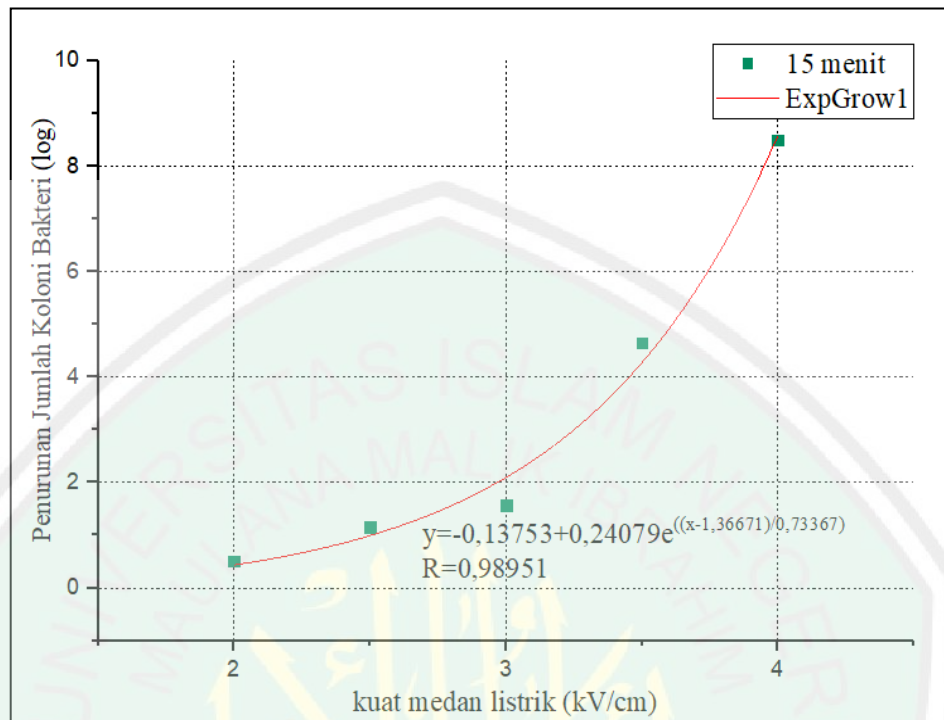
Tabel 4.1 menunjukkan bahwa medan listrik berpulsadapat menurunkan jumlah koloni bakteri *Escherichia coli*. Pada paparan dengan kuat medan listrik berpulsa 2 kV/cm selama 5 menit penurunan bakteri sebesar 0,09 log. Dengan lama paparan yang sama dan kuat medan listrik sebesar 2,5 kV/cm penurunan bakteri sebesar 0,41 log. Pada paparan kuat medan listrik berpulsa sebesar 3 kV/cm penurunan bakteri sebesar 1,01 log. Pada paparan kuat medan listrik sebesar 3,5 kV/cm penurunan bakteri sebesar 3,29 log. Penurunan tersebut menjadi 6,53 log ketika kuat medan listrik 4 kV/cm dipaparkan selama 5 menit.

B. Analisis Data

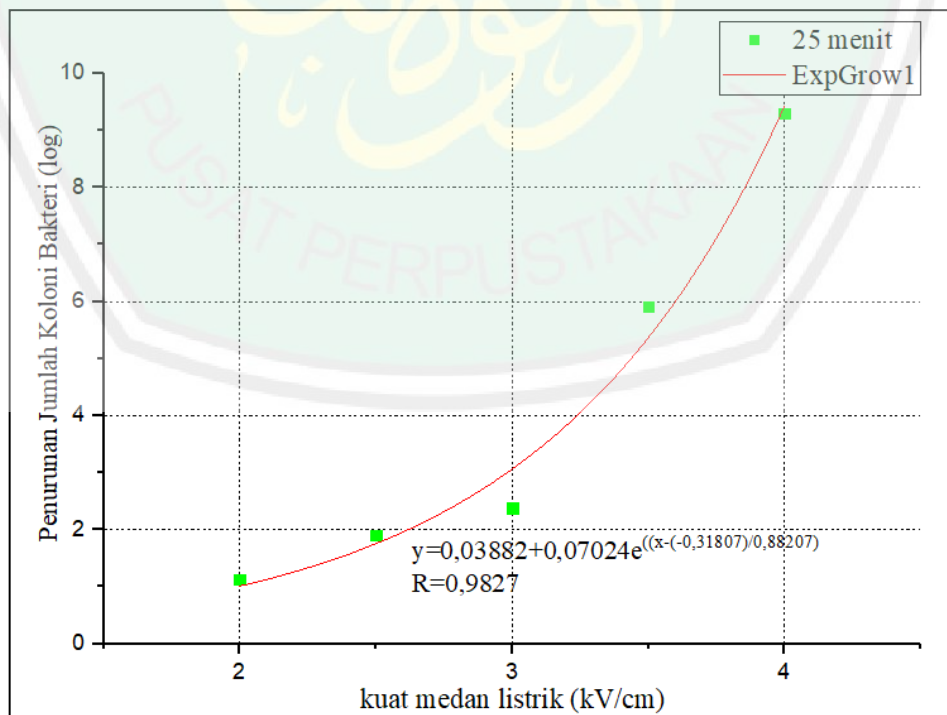
Penurunan jumlah koloni bakteri dalam bentuk log pada medan listrik selama 5 menit, 15 menit dan 25 menit secara berturut-turut ditunjukkan pada gambar 4.2, 4.3 dan 4.4.



Gambar 4.2 Plot Analisis Penurunan Jumlah Koloni Bakteri *Escherichia coli* setelah Dipapari Medan Listrik selama 5 menit

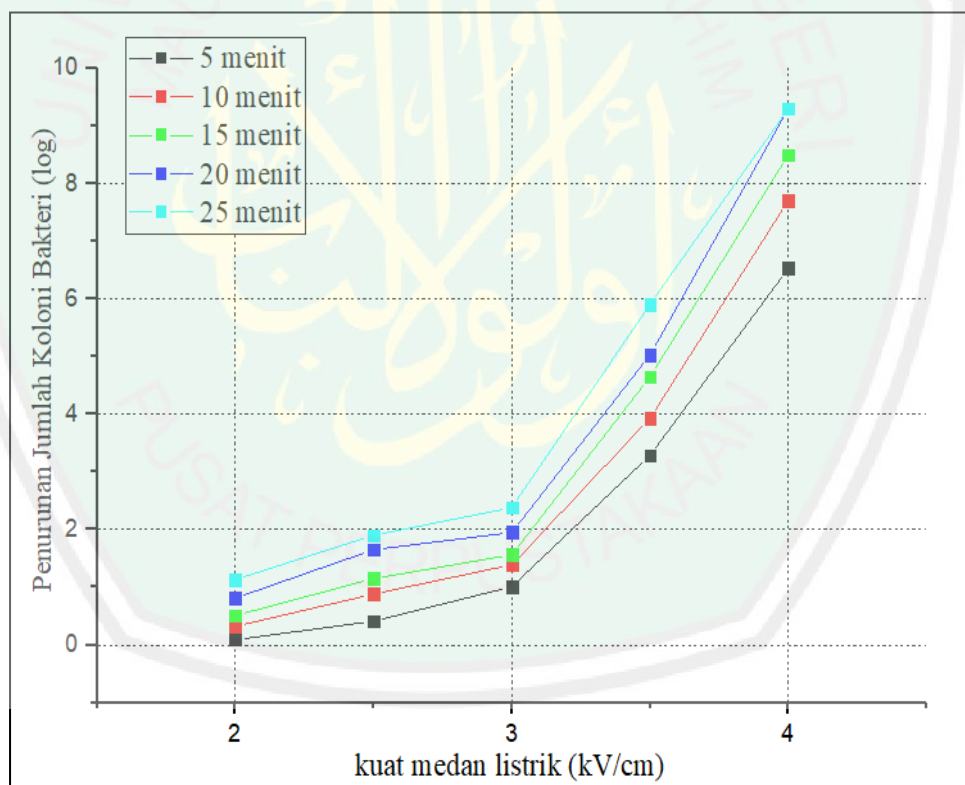


Gambar 4.3 Plot Analisis Penurunan Jumlah Koloni Bakteri *Escherichia coli* setelah Dipapari Medan Listrik selama 15 menit



Gambar 4.4 Plot Analisis Penurunan Jumlah Koloni Bakteri *Escherichia coli* setelah Dipapari Medan Listrik selama 25 menit

Plot analisis pada gambar 4.2 digunakan untuk menentukan kuat medan listrik yang dibutuhkan untuk menonaktifkan seluruh bakteri. Persamaan yang didapat adalah $y=0,4546+0,36691e^{((x-1,87769)/0,7185)}$, dimana y merupakan jumlah penurunan bakteri dan x merupakan kuat medan listrik. Pada paparan medan listrik selama 15 menit kuat medan listrik yang dibutuhkan untuk menonaktifkan seluruh bakteri ditentukan menggunakan persamaan $y=-0,13753+0,2407e^{((x-1,36671)/0,73367)}$ (gambar 4.3). Sedangkan pada gambar 4.4 menunjukkan bahwa pada paparan medan listrik selama 25 menit kuat medan listrik yang dibutuhkan untuk menonaktifkan seluruh bakteri ditentukan menggunakan persamaan $y=0,03882+0,07024e^{((x-(-0,31807)/0,88207)}$.



Gambar 4.5 Grafik Hubungan Variasi Kuat Medan Listrik terhadap Penurunan Jumlah Koloni Bakteri *Escherichia coli*

Gambar 4.5 menunjukkan grafik penurunan jumlah koloni bakteri setelah dipapari medan listrik berpulsa sebesar 2 kV/cm, 2,5 kV/cm, 3 kV/cm, 3,5 kV/cm, 4 kV/cm secara berkala selama 5 menit, 10 menit, 15 menit, 20 menit

dan 25 menit dapat dilihat bahwa semakin besar kuat medan listrik yang dipaparkan semakin besar pula jumlah bakteri yang mati. Terlihat pada gambar bahwa saat paparan kuat medan listrik sebesar 2 kV/cm, 2,5 kV/cm dan 3 kV/cm belum menunjukkan kenaikan grafik yang signifikan. Dengan kata lain pada saat paparan kuat medan listrik sebesar 2 kV/cm, 2,5 kV/cm dan 3 kV/cm belum menyebabkan penurunan jumlah koloni bakteri yang besar. Akan tetapi pada saat pemaparan kuat medan listrik sebesar 3,5 kV/cm dan 4 kV/cm menunjukkan kenaikan grafik yang signifikan. Dengan kata lain, pada saat paparan kuat medan listrik dinaikkan menjadi 3,5 kV/cm dan 4 kV/cm menyebabkan penurunan jumlah koloni bakteri semakin besar.

Penurunan yang besar pada paparan dengan kuat medan listrik sebesar 3,5 kV/cm dan 4 kV/cm disebabkan peningkatan potensial transmembran tersebut mencapai ambang kritis diantara dinding membran sehingga terjadi reduksi ketebalan dan memungkinkan terjadi kerusakan pada membran sel. Pada akhirnya akan menimbulkan lubang-lubang kecil dan kontraksi sehingga cairan tubuh keluar (Fang *et al.*, 2007).

4.1.2 Pengaruh Lama Paparan Medan Listrik Berpulsasi terhadap Penurunan Jumlah Koloni Bakteri *Escherichia coli* pada Susu Sapi

A. Data Hasil Penelitian

Tabel 4.2 Pengaruh Lama Paparan Medan Listrik Berpulsasi terhadap Penurunan Jumlah Koloni Bakteri *Escherichia coli*

Waktu (menit)	Penurunan Jumlah Koloni Bakteri (Log)				
	E=2 kV/cm	E=2.5 kV/cm	E=3 kV/cm	E=3.5 kV/cm	E=4 kV/cm
Kontrol	9,3				
5	0,09	0,41	1,01	3,29	6,53
10	0,32	0,88	1,39	3,93	7,71
15	0,51	1,15	1,56	4,65	8,52
20	0,81	1,65	1,95	5,03	9,3
25	1,13	1,9	2,38	5,91	9,3

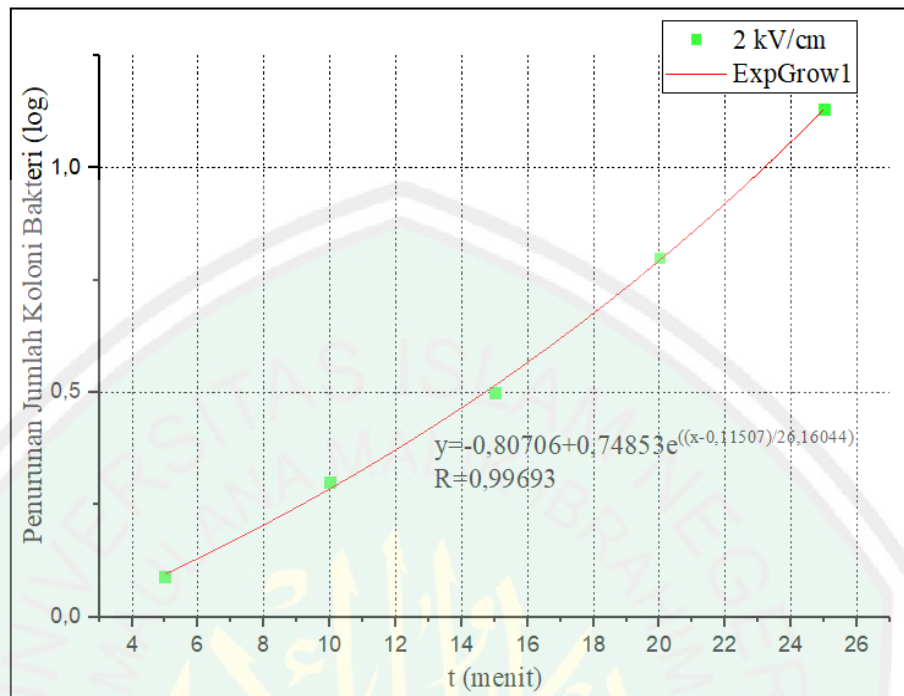
Tabel 4.2 menunjukkan bahwa lama paparan medan listrik berpulsasi dapat mempengaruhi jumlah koloni bakteri *Escherichia coli*. Pada paparan medan

listrik sebesar 2 kV/cm selama 5 menit penurunan jumlah koloni bakteri sebesar 0,09 log. Pada paparan medan listrik sebesar 2 kV/cm selama 10 menit penurunan jumlah koloni bakteri sebesar 0,32 log. Penurunan jumlah koloni bakteri menjadi 0,51 log pada saat pemaparan medan listrik 2 kV/cm selama 15 menit. Pada paparan medan listrik sebesar 2 kV/cm selama 20 menit penurunan jumlah koloni bakteri sebesar 0,81 log. Penurunan jumlah koloni bakteri menjadi 1,13 log pada saat pemaparan medan listrik 2 kV/cm selama 25 menit.

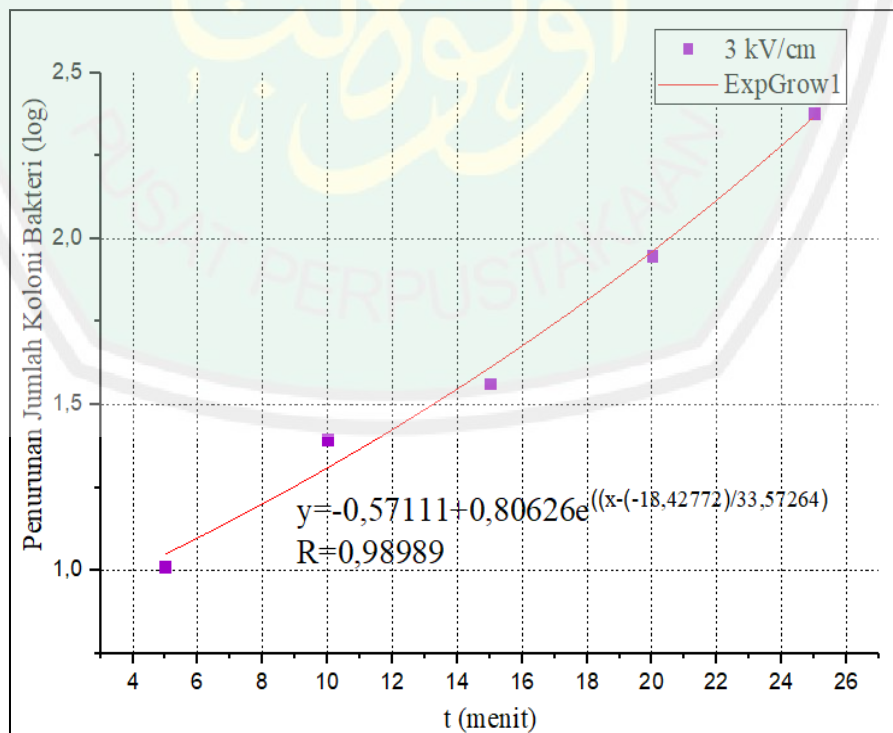
Pada paparan dengan kuat medan listrik sebesar 3,5 kV/cm selama 5 menit penurunan jumlah koloni bakteri sebesar 3,29 log. Penurunan jumlah koloni bakteri sebesar 3,93 log pada paparan medan listrik sebesar 3,5 kV/cm selama 10 menit. Penurunan jumlah koloni bakteri menjadi 4,65 log pada saat pemaparan medan listrik 3,5 kV/cm selama 15 menit. Pada paparan medan listrik sebesar 3,5 kV/cm selama 20 menit penurunan jumlah koloni bakteri sebesar 5,03 log. Penurunan jumlah koloni bakteri menjadi 5,91 log pada saat pemaparan medan listrik 3,5 kV/cm selama 25 menit. Lama pemaparan adalah perkalian antara jumlah pulsa dengan durasi pulsa (Bestari, 2015), sehingga peningkatan lama paparan medan listrik berpulsa menyebabkan penurunan jumlah koloni bakteri yang semakin besar.

B. Analisis

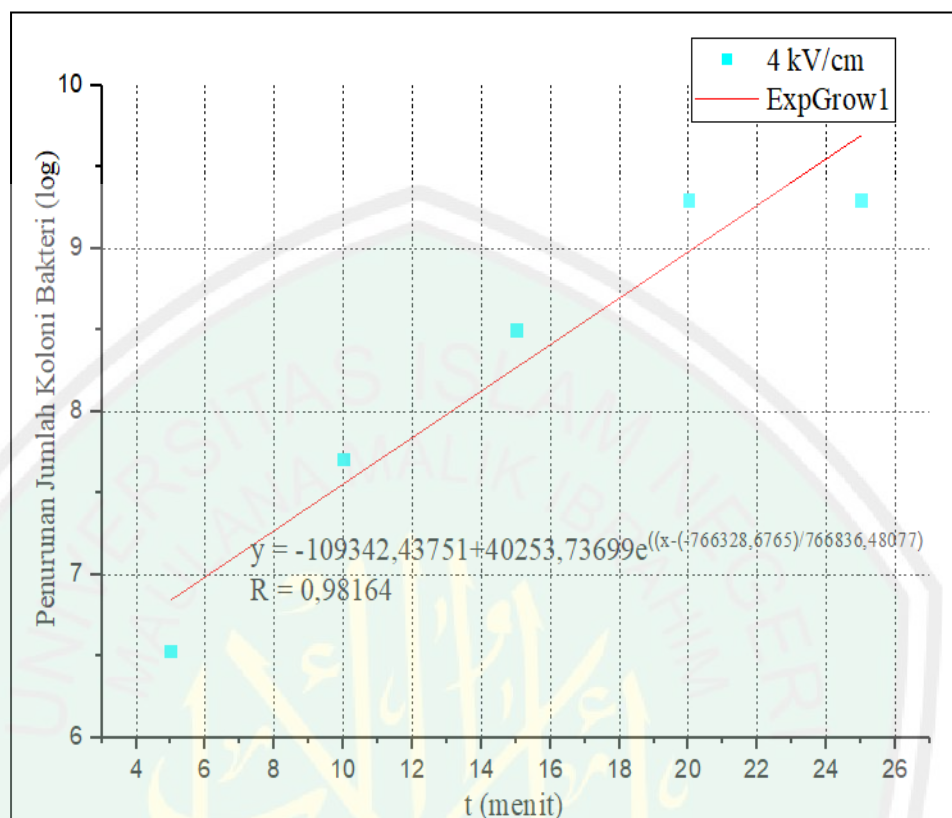
Penurunan jumlah koloni bakteri dalam bentuk log oleh medan listrik berpulsa sebesar 2 kV/cm, 3 kV/cm, dan 4 kV/cm secara berturut-turut ditunjukkan pada gambar 4.6, 4.7 dan 4.8.



Gambar 4.6 Plot Analisis Penurunan Jumlah Koloni Bakteri *Escherichia coli* setelah Dipapari Medan Listrik 2 kV/cm



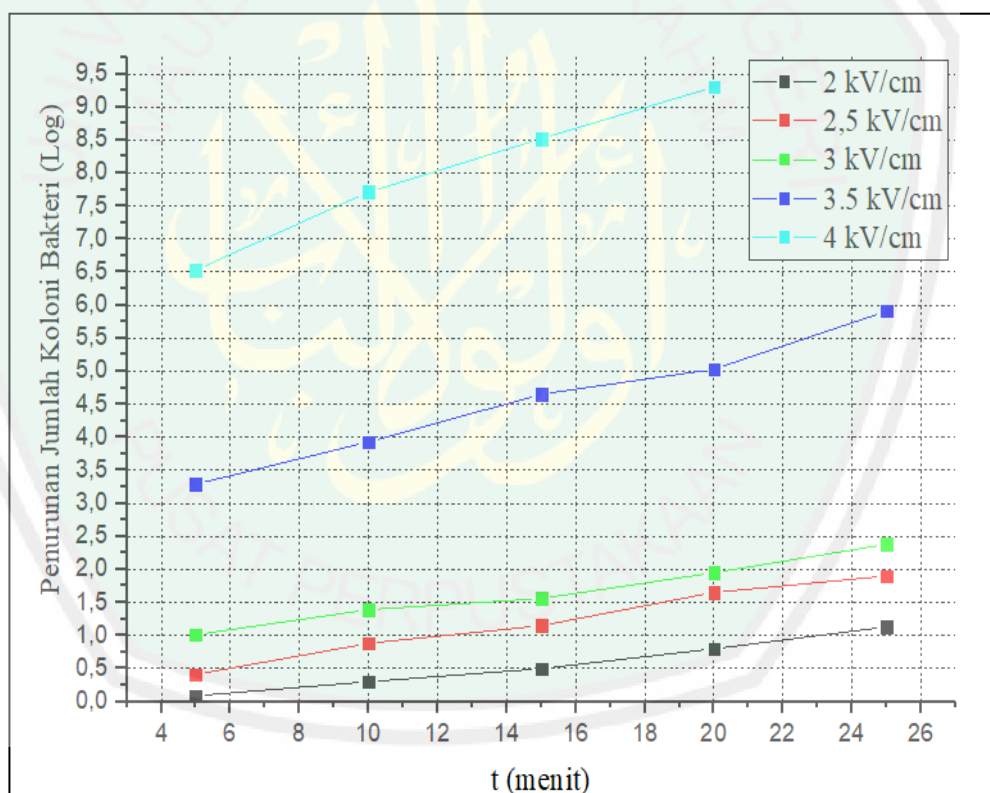
Gambar 4.7 Plot Analisis Penurunan Jumlah Koloni Bakteri *Escherichia coli* setelah Dipapari Medan Listrik 3 kV/cm



Gambar 4.8 Plot Analisis Penurunan Jumlah Koloni Bakteri *Escherichia coli* setelah Dipapari Medan Listrik 4 kV/cm

Plot analisis pada gambar 4.6 digunakan untuk menentukan lama paparan yang dibutuhkan untuk menonaktifkan seluruh bakteri. Persamaan yang didapat adalah $y = -0,80706 + 0,74853e^{((x-0,11507)/26,16044)}$, dimana y merupakan jumlah penurunan bakteri dan x merupakan lama paparan. Berdasarkan persamaan tersebut pada paparan medan listrik berpulsa sebesar 2 kV/cm bilamana diinginkan penurunan bakteri sebesar 10 log, maka didapatkan lama paparan yang dibutuhkan untuk menonaktifkan seluruh bakteri adalah 70 menit. Pada paparan medan listrik sebesar 3 kV/cm lama paparan yang dibutuhkan untuk menonaktifkan seluruh bakteri ditentukan menggunakan persamaan $y = 0,57111 + 0,80626e^{((x-(-6,36293))/17,17284)}$ (gambar 4.7). Berdasarkan persamaan tersebut jika diinginkan penurunan jumlah koloni bakteri sebesar 10 log pada paparan dengan kuat medan listrik sebesar 3 kV/cm maka lama paparan yang dibutuhkan untuk menonaktifkan seluruh bakteri adalah 67

menit. Sedangkan gambar 4.8 menunjukkan bahwa pada paparan dengan kuat medan listrik sebesar 4 kV/cm lama paparan yang dibutuhkan untuk menonaktifkan seluruh bakteri ditentukan menggunakan persamaan $y = -109342,43751 + 40253,73699e^{((x - (-766328,6765))/766836,48077)}$. Bila diinginkan penurunan jumlah koloni bakteri sebesar 10 log maka pada paparan dengan kuat medan listrik sebesar 4 kV/cm lama paparan yang dibutuhkan untuk menonaktifkan 10 log bakteri adalah 27 menit. Berdasarkan perhitungan diatas dapat dilihat bahwa semakin besar kuat medan listrik, semakin kecil lama pemaparan yang dibutuhkan untuk menonaktifkan seluruh bakteri.



Gambar 4.9 Grafik Hubungan Variasi Lama Paparan terhadap Penurunan Jumlah Koloni Bakteri *Escherichia coli*

Berdasarkan gambar 4.9 menunjukkan grafik penurunan jumlah koloni bakteri setelah dipapari medan listrik berpulsa sebesar 2 kV/cm, 2,5 kV/cm, 3 kV/cm, 3,5 kV/cm, 4 kV/cm secara berkala selama 5 menit, 10 menit, 15

menit, 20 menit dan 25 menit. Dapat dilihat bahwa semakin lama medan listrik yang dipaparkan maka semakin besar pula jumlah koloni bakteri yang mati. Terlihat pada grafik, saat pemaparan kuat medan listrik sebesar 3,5 kV/cm selama 5 menit, 10 menit, dan 15 menit menunjukkan efek penurunan jumlah koloni bakteri yang signifikan. Hal tersebut ditunjukkan dengan grafik yang semakin naik pada pemaparan 5 menit, 10 menit dan 15 menit secara berturut-turut. Kemudian ketika pemaparan kuat medan listrik sebesar 3,5 kV/cm selama 20 menit tidak terlalu menunjukkan efek penurunan yang signifikan pada jumlah koloni bakteri. Hal tersebut ditunjukkan dengan grafik yang tidak terlalu naik pada pemaparan kuat medan listrik sebesar 3,5 kV/cm selama 20 menit. Ketika lama pemaparan ditingkatkan menjadi 25 menit kembali menunjukkan efek penurunan jumlah koloni bakteri yang signifikan. Hal tersebut ditunjukkan dengan grafik yang semakin naik pada pemaparan kuat medan listrik sebesar 3,5 kV/cm selama 25 menit. Kemudian pada pemaparan kuat medan listrik sebesar 4 kV/cm selama 5 menit, 10 menit, 15 menit, 20 menit dan 25 menit menunjukkan efek penurunan jumlah koloni bakteri yang signifikan. Hal tersebut ditunjukkan dengan grafik yang semakin naik seiring meningkatnya lama pemaparan kuat medan listrik sebesar 4 kV/cm secara berturut-turut selama 5 menit, 10 menit, 15 menit, 20 menit, dan 25 menit.

Hal ini menunjukkan semakin lama waktu paparan yang diberikan maka dihasilkan jumlah bakteri yang hidup semakin sedikit. Karena ketika medan listrik berpulsa dipaparkan pada bakteri *Escherichia coli* maka akan terjadi proses perusakan sel yang disebut elektroporasi dimana sel tersebut pecah dengan pulsa listrik bertegangan tinggi dan menyebabkan lubang. Akan tetapi lubang tersebut dibiarkan lebih lama seiring lamanya pemaparan medan listrik berpulsa pada bakteri. Sehingga menyebabkan jumlah bakteri yang mati akan semakin banyak.

Meningkatnya lama pemaparan akan menyebabkan penurunan jumlah koloni bakteri yang lebih besar (Fitriya, 2017).

4.1.3 Pengaruh Paparan Medan Listrik Berpulsa terhadap Kadar Protein Susu Sapi

A. Data Hasil Penelitian

Pengukuran kadar protein dilakukan dengan menggunakan metode *kjeldhal*. Pengujian kadar protein menggunakan sampel yang belum dipapari medan listrik (kontrol) dan sampel yang sudah dipapari medan listrik sebesar 2 kV/cm, 2,5 kV/cm, 3 kV/cm, 3,5 kV/cm dan 4 kV/cm masing-masing dengan paparan selama 25 menit dan suhu 30 °C (suhu ruang). Hal tersebut dikarenakan tingkat penurunan bakteri terbesar didapatkan pada saat paparan medan listrik 2 kV/cm, 2,5 kV/cm, 3 kV/cm, 3,5 kV/cm dan 4 kV/cm selama 25 menit. Data hasil perhitungan kadar protein dapat dilihat padatablel 4.3.

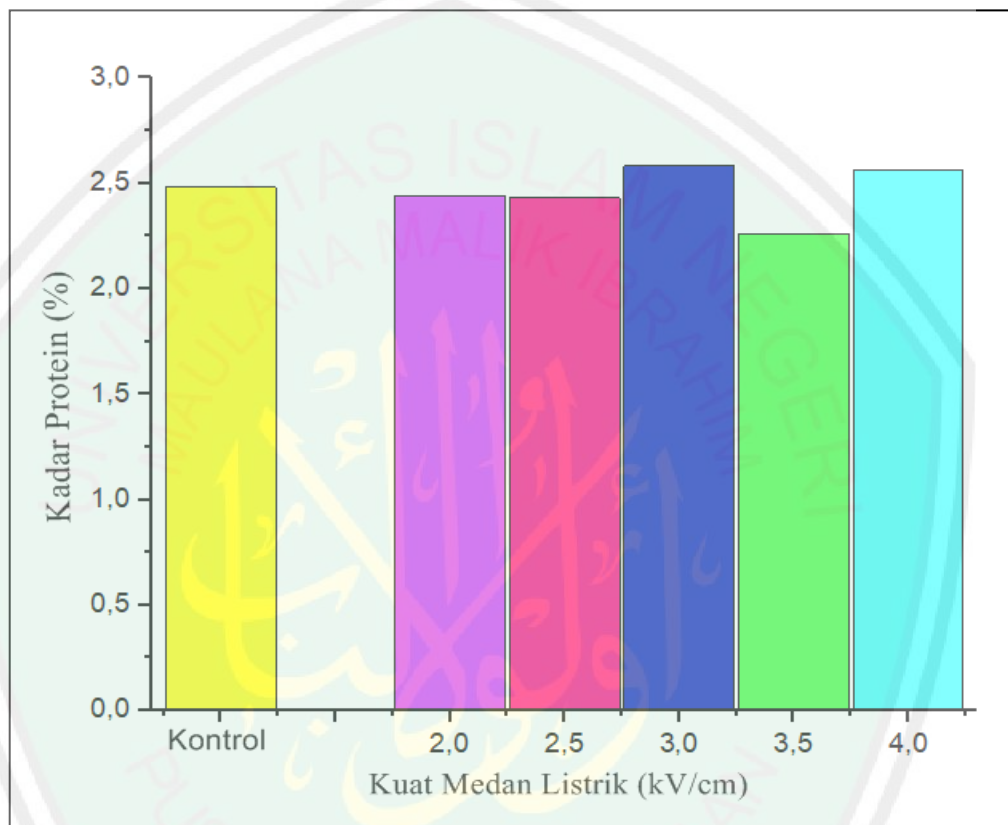
Tabel 4.3 Data Hasil Pengukuran Kadar Protein pada Susu Sapi yang Belum dan Telah Dipapari Medan Listrik Berpulsa

Kuat Medan Listrik	Kadar Protein (%)
Kontrol	2,48
2 kV/cm	2,44
2,5 kV/cm	2,43
3 kV/cm	2,58
3,5 kV/cm	2,26
4 kV/cm	2,56

Tabel 4.3 menunjukkan bahwa kadar protein pada sampel yang belum dipapari medan listrik adalah 2,48 %. Setelah dipapari medan listrik sebesar 2 kV/cm selama 25 menit kadar proteinnya menjadi 2,44 %. Pada saat dipapari medan listrik sebesar 2,5 kV/cm selama 25 menit kadar proteinnya menjadi 2,43 %. Pada saat dipapari medan listrik sebesar 3 kV/cm selama 25 menit kadar proteinnya menjadi 2,58 %. Pada saat dipapari medan listrik sebesar 3,5 kV/cm selama 25 menit kadar proteinnya menjadi 2,26 %. Kemudian kadar protein menjadi 2,56% ketika paparan medan listrik sebesar 4 kV/cm. Hal ini menunjukkan bahwa bertambahnya kuat medan listrik tidak mempengaruhi jumlah kadar protein pada susu sapi. Susu sapi tetap terjaga kadar proteinnya.

B. Analisis

Pengukuran kadar protein pada susu sapi yang belum dan telah dipapari medan listrik berpulsa sebesar 2 kV/cm, 2,5 kV/cm, 3 kV/cm, 3,5 kV/cm dan 4 kV/cm dalam bentuk grafik ditunjukkan oleh gambar 4.10.



Gambar 4.10 Grafik Hubungan Paparan Medan Listrik Berpulsa terhadap Kadar Protein pada Susu Sapi

Gambar 4.10 menunjukkan persentase kadar protein pada susu sapi setelah dipapari medan listrik selama 25 menit dengan suhu 30 °C. Setelah dipapari medan listrik sebesar 2 kV/cm persentase kadar proteinnya turun dibandingkan sebelum dipapari medan listrik (kontrol). Kemudian persentase kadar protein turun ketika dipapari medan listrik sebesar 2,5 kV/cm. Persentase kadar protein naik kembali pada saat dipapari medan listrik sebesar 3 kV/cm. Pada saat dipapari medan listrik sebesar 3,5 kV/cm persentase kadar proteinnya menurun. Kemudian ketika dipapari medan listrik sebesar 4 kV/cm persentase kadar proteinnya naik kembali. Hal tersebut menunjukkan bertambahnya kuat

medan listrik yang dipaparkan pada susu sapi tidak mempengaruhi jumlah kadar protein. Kadar protein pada susu sapi sebelum dipapari medan listrik dan sesudah dipapari medan listrik sebesar 2 kV/cm, 2,5 kV/cm, 3 kV/cm, 3,5 kV/cm, dan 4 kV/cm relatif konstan. Susu sapi tetap terjaga kadar proteinnya.

4.2 Pembahasan

Medan Listrik lebih dari 2 kV/cm dengan lebar pulsa di atas 10^6 s akan menyebabkan elektroporasi pada bakteri (Wang, 2009). Elektroporasi menyebabkan tegangan transmembran meningkat, sehingga membran sel mengalami kebocoran (Apriliawan 2012). Kebocoran tersebut dapat diamati dengan mikroskop elektron yang ditandai dengan terbentuknya lubang (Gould, 1995).

Paparan medan listrik 2 kV/cm, 2,5 kV/cm dan 3 kV/cm belum menunjukkan efek penurunan yang signifikan dikarenakan paparan dengan kuat medan listrik tersebut masih berada di bawah batas ambang. Efek penurunan jumlah koloni bakteri *Escherichia coli* yang besar ditunjukkan pada paparan dengan kuat medan listrik 3,5 kV/cm dan 4 kV/cm karena paparan dengan kuat medan listrik tersebut sudah mencapai ambang kritis.

Peningkatan potensial transmembran pada sel membran *lipid bilayer* dan protein akan mempengaruhi regangan 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. Sehingga pada akhirnya akan menimbulkan lubang-lubang kecil dan kontraksi sehingga cairan tubuh keluar (Fang et al., 2007).

Bakteri *Escherichia coli* yang berada pada medan listrik akan mengalami pergeseran muatan. Molekul atau atom yang bermuatan positif akan bergeser ke arah elektroda negatif dan yang bermuatan negatif akan bergeser ke arah elektroda positif. Pergeseran muatan mengakibatkan potensial. Sehingga mengakibatkan molekul di luar membran sel masuk ke dalam sel. Proses ini mengakibatkan membran sel membengkak, kemudian lisis.

Tegangan listrik berbanding lurus dengan kuat medan listrik berpulsa. Kuat medan listrik berpulsa juga berbanding lurus dengan penurunan jumlah koloni bakteri yang dipapari medan listrik tersebut. Apabila medan listrik meningkat maka penurunan jumlah koloni bakteri juga meningkat. Semakin besar intensitas medan listrik, maka potensial transmembran mendekati ke ambang kritis. Selain itu, lama pemaparan juga termasuk faktor yang mempengaruhi kerusakan bakteri.

Disamping memberikan paparan medan listrik, lama pemaparan juga termasuk faktor penting dalam diaktivasi bakteri. Berdasarkan grafik dapat diketahui bahwa ada hubungan antara lama paparan dengan penurunan jumlah bakteri *Escherichia coli* pada susu sapi. Semakin lama waktu paparan, maka bakteri akan mengalami elektroporasi dan menyebabkan lubang, kemudian dengan tegangan yang konstan lubang tersebut dibiarkan lebih lama dan mengakibatkan jumlah bakteri yang mati semakin meningkat.

Pengujian kadar protein menggunakan medan listrik 2 kV/cm, 2,5 kV/cm, 3 kV/cm, 3,5 kV/cm, dan 4 kV/cm selama 25 menit dengan suhu 30 °C tidak mempengaruhi kadar protein pada susu sapi. Hal tersebut diperkuat dengan pernyataan Handayani (2016) dalam penelitiannya, yakni pada suhu 30-50 °C dengan variasi waktu 10-30 menit kadar protein di dalam susu sapi masih dalam batas aman dari denaturasi protein yang disebabkan suhu tersebut. Jadi, tidak diperlukan pengujian pada suhu 30-50 °C. Febriana (2017) juga menyatakan dalam penelitiannya, pengujian kadar protein menggunakan arus listrik 20-60 mA dengan suhu 30°C masih dikatakan dalam batas aman dari denaturasi protein.

Berdasarkan Standar Nasional Indonesia (SNI) tahun 2011, susu sapi segar yang normal memiliki kandungan sebagai berikut: berat jenis 1.0270, kadar lemak 3%, bahan kering tanpa lemak 7,8%, kadar protein 2,8%, dan pH 6,3-6,8. Adapun menurut SNI tahun 1995 kadar protein untuk susu pasteurisasi adalah 2,5%. Hasil pengujian kadar protein menunjukkan rata-rata 2,45%. Hal tersebut menunjukkan bahwa peningkatan kuat medan listrik tidak mempengaruhi kadar protein pada susu sapi.

4.3 Integrasi

Susu adalah bahan makanan yang memiliki nilai gizi cukup sempurna dan merupakan makanan alamiah bagi binatang menyusui yang baru lahir. Jadi, susu didefinisikan sebagai suatu sekresi dengan komposisi berbeda dari komposisi darah yang berasal dari susu (Muchtadi dan Sugiyono, 1992).

Berdasarkan definisi susu yang telah dipaparkan, maka Tirtawinata (2006) menjelaskan bahwa Allah SWT menciptakan makhluknya dengan sempurna, lengkap dengan semua perlengkapan yang diperlukan untuk kelangsungan hidupnya dan merupakan sunnatullah bahwa hewan menyusui (spesies mamalia) itu menghasilkan susu sebagai makanan pertama untuk keturunannya yang baru lahir, diantaranya susu sapi untuk anak sapi, susu kambing untuk anak kambing dan susu manusia atau air susu ibu (ASI) untuk anak manusia yang baru lahir serta masih banyak hewan-hewan menyusui lainnya. Selain sebagai makan pertama bagi bayi yang baru lahir, susu juga merupakan bahan makanan yang penting, karena susu memiliki kandungan gizi tinggi serta zat-zat makanan yang lengkap dan seimbang seperti protein, lemak, karbohidrat, mineral, dan vitamin yang sangat dibutuhkan oleh manusia.

Al-Qur'an menjelaskan bahwa hewan ternak memiliki susu yang dapat dimanfaatkan oleh manusia, dalam surat An-Nahl ayat 5 sebagai berikut:

وَاللَّيْلَةَ خَلَقَهَا أَكْثَفِيهَا دِفْءٌ وَمَنْفَعَةٌ مِنْهَا تَأْكُلُونَ ٥

Artinya: “Dan dia telah menciptakan binatang ternak untuk kamu; padanya ada (bulu) yang menghangatkan dan berbagai manfaat, serta sebagiannya kamu makan.” (QS. An-Nahl: 5).

Secara garis besar ayat tersebut mendeskripsikan tentang potensi dan manfaat sumber daya alam seperti binatang ternak dengan berbagai manfaat di dalamnya. Maksud dari lafadz **وَمَنْفَعٌ** yang artinya berbagai manfaat adalah sesuatu yang dimanfaatkan manusia (Ad-Dimasyqi, 2002). Kata berbagai manfaat tersebut dapat dimaksudkan dengan berbagai bagian dari hewan ternak yang dapat

dimanfaatkan oleh manusia seperti kulitnya sebagai bahan pakaian, dagingnya sebagai makanan dan susu sebagai minuman yang memiliki kandungan nutrisi lengkap di dalamnya. Allah berfirman di dalam surat An-Nahl ayat 66 yang berbunyi:

وَإِنَّكُمْ فِيهَا لَأَعْمَالٍ جِدْرَةٌ تَسْقِيكُمْ مِمَّا فِي بُطُونِهِمْ مِمَّا يَفِرُّونَ لِأَنَّ بَيْنَ أَمْعَانِهَا خَالِصًا سَائِغًا لِلشَّرِبِ بَيْنَ ٦٦

Allah berfirman, “Dan sungguh, pada hewan ternak itu terdapat pelajaran bagi kamu. Kami memberimu minum dari apa yang dalam perut-perutnya, (yang berupa) susu murni diantara kotoran dan darah, yang mudah ditelan bagi orang yang meminumnya.” (An-Nahl: 66).

Makna kata تَسْقِيكُمْ مِمَّا فِي بُطُونِهِمْ adalah kami memberimu minum dari apa yang ada dalam perutnya. Dhamir yang terdapat pada lafadz بُطُونِهِمْ adalah bentuk tunggal, tetapi merujuk pada makna الْأَنْعَامِ (binatang ternak). Maksudnya adalah memberi minum dari apa yang ada dalam perutnya (hewan ternak). Karena sesungguhnya binatang ternak termasuk hewan bernyawa (Ad-Dimasyqi, 2002). Dalam hal ini bagian yang berada di dalam tubuh hewan ternak yang boleh (halal) diminum tidak lain adalah susu. Susu terletak di antara aliran feses dan darah di dalam perut hewan ternak. Meskipun demikian, cairan susu adalah dalam kondisi yang benar benar bersih dari segi warna, bau, dan rasanya sama sekali tidak bercampur sekalipun letaknya sangat dekat dengan aliran feses dan darah.

Kemudian dilanjutkan dengan terkait pembentukan susu di dalam perut sapi, Allah menyatakan, مِمَّا يَفِرُّونَ yang artinya “di antara kotoran dan darah”. Kotoran yang dimaksud adalah kandungan yang ada di dalam lambung rumen hewan pemamah biak. Adapun darah adalah aliran darah yang mengalir deras melewati ambing susu, yang menyaring dan menghasilkan air susu murni, yang tidak bercampur dengan kotoran yang berasal dari rumen dan darah (Thayyarah,

2013). Ungkapan “*di antara*” pada ayat di atas merujuk pada tempat terjadinya aktivitas penyaringan dan pemurnian untuk memproduksi susu. Sesungguhnya kotoran hewan terletak di dalam usus, sedangkan darah terdapat di dalam semua organ tubuh hewan. Ini berarti bahwa air susu berada di antara kotoran dan darah. Namun, kotoran tidak bercampur dengan air susu, sedangkan darah tidak melampaui pembuluh darah sehingga tidak bercampur dengan air susu (Thayyarah, 2013).

Aktivitas penyaringan susu dimulai dari dalam rumen hewan pemamah biak. Artinya, dimulai dari sisa-sisa makanan yang ada di dalam rumen. Mula-mula bahan makanan yang masih berbentuk kasar diubah menjadi sari-sari makanan. Lalu sari-sari makanan mengalir melalui pembuluh-pembuluh darah menuju kelenjar susu di dalam ambing (Thayyarah, 2013).

Selanjutnya, proses penyaringan dan pemurnian susu itu berlangsung di antara materi-materi yang ada di dalam darah. Proses ini kemudian menghasilkan air susu yang tidak bercampur dengan kotoran sisa pencernaan dan darah. Selanjutnya, air susu itu mengalir dan berkumpul di dalam ambing dan menjadi susu murni yang siap untuk diminum (Thayyarah, 2013).

Para ilmuwan berhasil menemukan bahwa di dalam tubuh sapi terdapat kelenjar susu. Kelenjar susu terdiri dari lobus-lobus, dan tiap lobus terdiri dari lobulus-lobulus. Lobulus terdiri dari bilik-bilik kecil yang dikelilingi oleh sel-sel. Sel-sel tersebut mengelilingi filamen darah. Kelenjar susu itu kemudian mengeluarkan air susu yang ada di dalam bilik-bilik kecil di dalam lobulus dan mengalirkannya ke puting susu (Thayyarah, 2013).

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian mengenai paparan medan listrik berpulsa dengan variasi kuat medan listrik dan lama paparan untuk menghambat pertumbuhan bakteri *Escherichia coli* pada susu sapi segar dan pengaruhnya terhadap kandungan protein, maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Kuat medan listrik berpulsa dapat mengurangi jumlah bakteri *Escherichia coli*. Semakin besar kuat medan listrik berpulsa yang dipaparkan maka semakin besar jumlah koloni bakteri yang mati. Hal ini dapat diketahui dari data hasil penelitian yang menunjukkan bahwa paparan medan listrik sebesar 2 kV/cm, 2,5 kV/cm dan 3 kV/cm belum menunjukkan efek penurunan jumlah koloni bakteri. Penurunan yang signifikan terjadi ketika paparan medan listrik sebesar 3,5 kV/cm dan 4 kV/cm.
2. Lama paparan medan listrik berpengaruh pada penurunan jumlah koloni bakteri *Escherichia coli*. Semakin lama waktu paparan yang diberikan, maka jumlah bakteri *Escherichia coli* yang hidup akan semakin menurun. Hal ini dapat diketahui dari data hasil penelitian yang menunjukkan bahwa jumlah koloni bakteri *Escherichia coli* semakin menurun seiring bertambahnya lama paparan kuat medan listrik secara berturut-turut selama 5 menit, 10 menit, 15 menit, 20 menit dan 25 menit. Penurunan yang signifikan terjadi ketika paparan kuat medan listrik selama 20 menit dan 25 menit.
3. Kuat medan listrik berpulsa 2,5 kV/cm, 3 kV/cm, 3,5 kV/cm dan 4 kV/cm dengan lama paparan 5 menit, 10 menit, 15 menit, 20 menit dan 25 menit tidak mempengaruhi kadar protein pada susu sapi. Kadar protein pada susu sapi tetap terjaga dan konstan. Hasil penelitian menunjukkan kadar protein rata-rata sebesar 2,45%.

5.2 Saran

Berdasarkan kesimpulan yang sudah dikembangkan maka diberikan saran untuk mengadakan penelitian yang lebih baik di masa mendatang, yaitu:

1. Diperlukan penelitian lebih lanjut terhadap jenis bakteri patogen lainnya.
2. Diperlukan penelitian lebih lanjut terhadap kadar nutrisi lainnya.
3. Pada saat melakukan proses pengenceran dan penanaman bakteri, sebaiknya alat dan bahan harus benar-benar steril sehingga tidak terjadi kontaminasi.
4. Sebaiknya jarak antara pemaparan kuat medan listrik dengan pengukuran kadar protein tidak terlalu lama.



DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah. 2001. *Tafsir Ibnu Katsir Jilid 1*. Jakarta: Pustaka Imam Asy-Syafi'i
- Ad-Dimasyqi, Al-Imam Abul Fida Ismail. 2002. *Terjemah Tafsir Ibnu Katsir*. Bandung: Sinar Baru Al-Gensindo.
- Adnan, Muhammad. 1984. *Kimia dan Teknologi Pengolahan Air Susu*. Yogyakarta: UGM Press.
- Al-Jaziri, Syaikh Abu Bakar Jabir, 2010. *Tafsir Qur'an Al-Aisar*. Jakarta: Darus Sunnah Press.
- Apriliawan, Hadi. 2012. *Laban Electric alat pasteurasi susu kejut listrik tegangan tinggi (Pulsed Electric Field) menggunakan flyback transformer*. Malang: Universitas Brawijaya.
- Aranda, S., K. Riske, A., Lipowsky, R., and Dimova R. 2008. *Morphological Transitions of Vesicles Induced by AC Electric Fields*, *Biophys, J*, 95: L19-L25.
- Arisman, 2009. *Buku Ajar Ilmu Gizi*. Jakarta: EGC.
- Ayu, Ramadhaniar. 2015. *Pengaruh Paparan Medan Listrik untuk Menghambat Pertumbuhan Biofilm Listeria monocytogenes*. *Jurnal Biofisika* 6(1): 45-50.
- Berg, 2002. *Mikrobiologi Pangan*. Malang: UB Press.
- Bestari, Juwita Ayu. 2015. *Optimasi Medan Listrik Berpulsa untuk Menghambat Pertumbuhan Biofilm Listeria Monocytogeneses*. Skripsi. Jurusan Fisika: Fakultas Sains dan Teknologi. Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang
- Bintang, Maria. 2010. *Biokimia Teknik*. Jakarta: Erlangga.
- Buckle. 1983. *Ilmu Pangan*. Jakarta: UI Press.
- Bueche. J.F. dan Hecht E. 2006. *Schaum's Outlines Fisika Universitas Edisi Kesepuluh*. Jakarta: Erlangga.
- Champbell, dkk. 2002. *Biologi Edisi Kelima Jilid I*. Jakarta: Erlangga.
- Chang, Raymond. 2005. *Kimia Dasar Edisi Ketiga*. Jakarta: Erlangga.

- Codex. 2003. *Codex Standard for Fermented Milks Codex Standard*. 243-2003. Departemen Agama RI. *Al-Qur'an dan Terjemahannya Al-Jumanatul Ali*. 2010. Bandung: CV Penerbit J-Art.
- Fang J., Piao Z., dan Zhang X. 2007. *Study on High-Voltage Pulsed Electric Fields Sterilization Mechanism Experiment*. The Journal of American Science. 2(2): 39-43.
- Febriana, Trianti. 2017. *Pengaruh Arus Listrik dan Suhu terhadap Pertumbuhan Bakteri Listeria Monocytogenes pada Susu Sapi*. Skripsi. Jurusan Fisika: Fakultas Sains dan Teknologi. Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
- Fitriya, 2017. *Pengaruh Medan Listrik Berpuls dan Cahaya Ultraviolet (UV-C) terhadap Bakteri Staphylococcus aureus pada Pembentukan Biofilm*. Skripsi. Jurusan Fisika: Fakultas Sains dan Teknologi. Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
- Giancoli, Douglass C. 2011. *Fisika Edisi Kelima Jilid Dua*. Jakarta: Erlangga.
- Gould, G.W. 1995. *New Methodes Food Preservative*. New York: Chapman Hall.
- Hadiwiyoto. 1983. *Hasil-Hasil Olahan Susu*. Yogyakarta: Penerbit Liberty.
- Handayani, Atul. 2016. *Pengaruh Paparan Gelombang Ultrasonik untuk Menghambat Pertumbuhan Bakteri Escherichia coli dan Kadar Protein pada Susu Sapi Segar*. Skripsi. Jurusan Fisika: Fakultas Sains dan Teknologi. Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang
- Jawets dan Adelberg. 2001. *Mikrobiologi Kedokteran*. Surabaya: Salemba Medika.
- Jones, G. M., T. L. Bailey, Jr. And J. R. Roberson. 1998. *Staphylococcus Aureus Masitis. Cause Detection and Control, Dairy Science Publication. Virnia Polytechnic Institute and State University*. USA Sudhayana 2005. Metode Statistika, cetakan kelima. Tarsito Bandung.
- Jones. 2006. *Staphylococcus Aureus Masitis. Cause Detection and Control, Dairy Science Publication. Virnia Polytechnic Institute and State University*. USA Sudhayana 2005. Metode Statistika, cetakan kelima. Tarsito Bandung.
- Kasmiati dan Harmayani. 2002. *Potensi Bakteri Asam Laktat*. Yogyakarta: UGM Press.

Lasmawati M. M., Lilil. 2014. *Potensi Medan Listrik untuk Penonaktifan Biofilm dari Bakteri Pseudomonas aeruginosa*. UIN Malang.

Mawaddah, Amiliyatul. 2017. *Rancang Bangun Medan Listrik Berpulsa dengan Keping Sejajar sebagai Penonaktifan Bakteri (Studi Kasus pada Susu Kemasan)*. Skripsi. Jurusan Fisika: Fakultas Sains dan Teknologi. Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.

Monfort, Louiseau. 2010. *Sources of Contaminations of Dairy Supply Chains and Approaches to Quality Control*. Animal Production and Veterinary Medicine Departemennt Journal: 34: 398. <http://milkcontamination.org> (1 Mei 2015)

Muchtadi T. R. dan Sugiyono. 1992. *Petunjuk Laboratorium Ilmu Pengetahuan Bahan Pangan*. Bogor: Departemen Pendidikan dan Kebudayaan Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi Pusat Antar Universitas Pangan dan Gizi Institut Pertanian Bogor.

Muchtar, Ashry, 2006. *Ilmu Produksi Ternak Perah*. LPP UNS Press: Surakarta.

Pelezar. J. Michael dan Chan E.CS, 1986. *Dasar-Dasar Mikrobiologi*. UI Press: Jakarta.

Poedjiadji. 2009. *Dasar-Dasar Biokimia*. Jakarta: UI Press.

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

Raju G.G. 2003. *Dielectrics in Electric Fields*. Marcell DEKKER Inc, New York Basel

Rols, M.P. 2006. *Electropermeabilization a Physical Method for the Delivery of Therapeutic Molecules into Cells*. Biochimica et Biophysica Acta 1758, 423-428.

Serway, R.A. dan Jewett, J. W. 2012. *Physics for Scientist and Engineers. Six Edition*. California: Thompson Brook/cole.

Setiabudi, Rudi. 2007. *Material Teknik Listrik*. Depok: UI Pustaka.

SNI 1995. *Standarisasi Nasional Indonesia Susu Segar Bagian Satu*. Jakarta: SNI.

SNI 2011. *Standarisasi Nasional Indonesia Susu Segar Bagian Satu*. Jakarta: SNI.

Sumarno. 2002. *Bakteriologi dan Pengaruh terhadap Kontaminasi*. Jakarta: EGC.

- Supardi dan Sukamto, 1999. *Mikrobiologi*. Bandung: Penerbit Alumni.
- Susilorini dan Sawitri. 2007. *Produk Olahan Susu*. Jakarta: Penebar Pustaka Press.
- Sutrisno. 1979. *Fisika Dasar Listrik Magnet dan Termofisika*. Bandung: ITB.
- Sutrisno dan Gie, Tan Ik., 1983, *Seri Fisika Dasar: Listrik, Magnet dan Termofisika*, Penerbit ITB, Bandung.
- Teissie J., Escofre J. M., Rois M. P., Golzio M., 2008. *Time dependence of electric field effects on cell membranes. A review for a critical selection of pulse duration for theraneutical applications*. Radiol oncol; 42 (4): 196-206.
- Thayyarah, Nadia. 2013. *Sains dalam Al-Qur'an*. Jakarta: Zaman.
- Tipler. 1991. *Fisika untuk Sains dan Teknik Edisi Ketiga Jilid 1*. Jakarta: Erlangga.
- Tirono, Mokhammad. 2012. *Efek Medan Listrik AC terhadap Pertumbuhan Bakteri Klesella Pneumoniae*. UIN Malang. Jurnal Neutrino Vol. 5 No. 2.
- Tirtawinata, 2006. *Makanan dalam Perspektif Al-Quran dan Ilmu Gizi*. Fakultas Kedokteran Universitas Indonesia: Jakarta
- Todar, 2008. *Bakteriologi*. Jogjakarta: UGM Press.
- Valic B., Golzio M., Pavlin M., Schatz A., Faurie C., Gabriel B., Teissie J., Rols M.P., Miklavc D. 2003. *Effect of Electric Field Induced Transmembrane Potential on Spheroidal Cells: Theory and Experiment*, Eur Biophys J 32: 519-528.
- Vladimir, Uversky. 2007. *Conformational Stability, Size, Shapes and Surface of Protein Molecules*. New York: Nova Science. Young, W.K. 2015. *Effect of Electrical Energy*.
- Vlahovska, P.M., Gracia, S., Aranda-Espinoza, R.S., and Dimova, R. 2009. *Electrodynamic Model of Vesicle Deformation in Alternative Electric Fields*, Biophys. J., 96: 4789.
- Voldman, J. 2006. *Electrical Forces for Microscale Cell Manipulation*, Annu, Rev, Biomed. Eng, 8: 425-454.

Wahyudi, 2006. *Kombinasi Susu dengan Air Kelapa pada Proses Pembuatan Drink Yogurt*. UB Press: Malang.

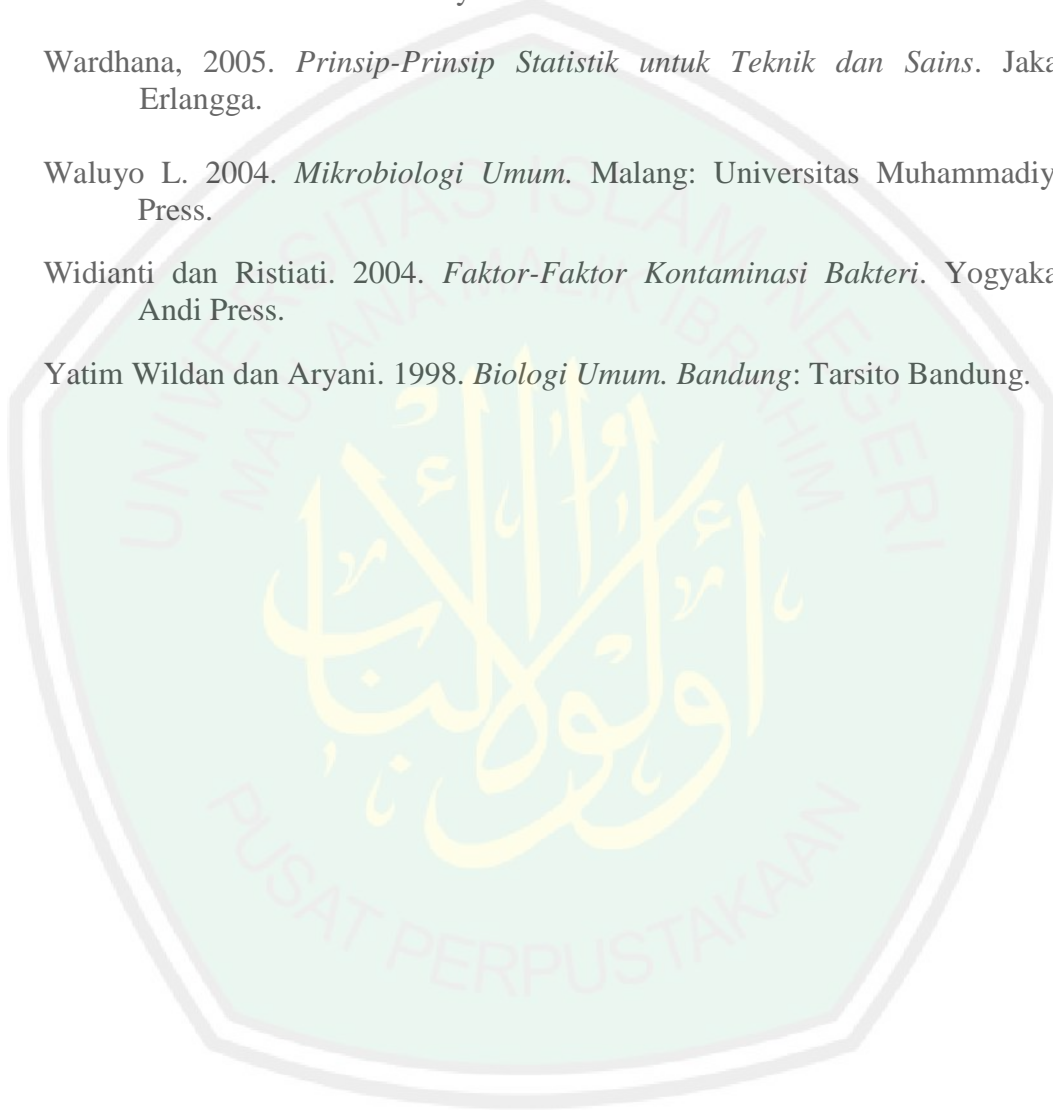
Wang, Zhao. 2009. *Electromagnetic Field Interaction with Biological Tissues and Cells*. London. University of London

Wardhana, 2005. *Prinsip-Prinsip Statistik untuk Teknik dan Sains*. Jakarta: Erlangga.

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

Widianti dan Ristiati. 2004. *Faktor-Faktor Kontaminasi Bakteri*. Yogyakarta: Andi Press.

Yatim Wildan dan Aryani. 1998. *Biologi Umum*. Bandung: Tarsito Bandung.





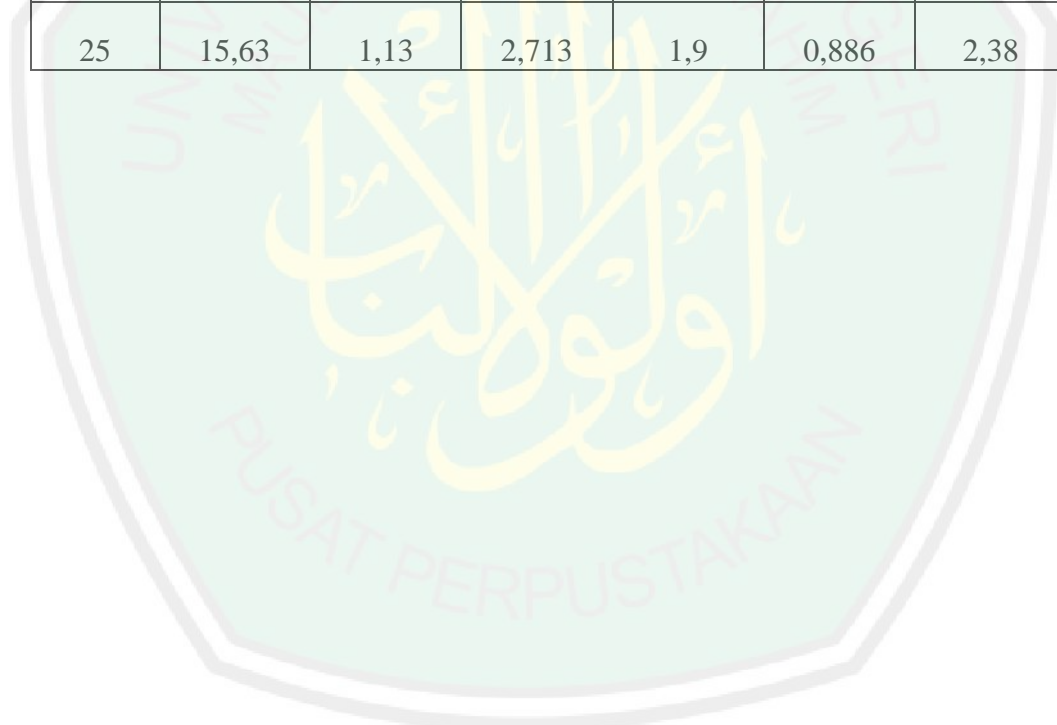
LAMPIRAN

Lampiran 1. Data Hasil Penelitian

Perlakuan		Jumlah Sel Bakteri ($\times 10^7$ CFU/ml)			Rata-Rata ($\times 10^7$ CFU/ml)
E (kV/ml)	Waktu (menit)	1	2	3	
0	0	208,75	220,21	218,24	215,73333333
2	5	172,8	171,63	175,32	173,25
	10	111,51	114,92	108,13	111,52
	15	75,9	71,2	64,3	70,46666667
	20	34,7	31,6	38,47	34,923333333
	25	16,3	13,44	17,16	15,633333333
2,5	5	83,3	75,6	90,8	83,233333333
	10	28,12	29,6	25,4	27,706666667
	15	15,1	15,92	14,9	15,306666667
	20	4,72	3,92	5,92	4,8533333333
	25	2,73	1,06	4,35	2,7133333333
3	5	21,35	27,41	14,89	21,216666667
	10	8,73	5,31	12,06	8,7
	15	5,91	4,72	7,1	5,91
	20	2,8	2,11	2,33	2,4133333333
	25	1,04	0,71	0,91	0,8866666667
3,5	5	0,11	0,091	0,13	0,1103333333
	10	0,025	0,029	0,027	0,027
	15	0,005	0,003	0,007	0,005
	20	0,0016	0,0019	0,0022	0,0019
	25	0,00027	0,00025	0,00028	0,000266667
4	5	0,0000088	0,000069	0,000096	5,793
	10	0,0000036	0,000004	0,000005	0,0000042
	15	0,0000007	0,0000004	0,0000005	5,333
	20	0	0	0	0
	25	0	0	0	0

Lampiran 2. Data Hasil Penurunan Jumlah Koloni Bakteri

Waktu (menit)	E = 2 kV/cm		E = 2,5 kV/cm		E = 3kV/cm		E = 3,5 kV/cm		E = 4 kV/cm		Kontrol (x10 ⁹ CFU/ml)
	Rata-rata (x10 ⁹ CFU/ml)	Penurunan (log)	Rata-rata (x10 ⁹ CFU/ml)	Penurunan (log)	Rata-rata (x10 ⁹ CFU/ml)	Penurunan (log)	Rata-rata (x10 ⁹ CFU/ml)	Penurunan (log)	Rata-rata (x10 ⁹ CFU/ml)	Penurunan (log)	
5	173,25	0,09	83,23	0,41	21,216	1,01	0,11	3,29	5,793	6,53	215,733
10	111,52	0,32	27,70	0,88	8,7	1,39	0,027	3,93	0,000004 2	7,71	
15	70,46	0,51	15,306	1,15	5,91	1,56	0,005	4,65	5,33	8,52	
20	34,92	0,81	4,853	1,65	2,41	1,95	0,0019	5,03	0	9,3	
25	15,63	1,13	2,713	1,9	0,886	2,38	0,00027	5,91	0	9,3	



Lampiran 3. Proses Penelitian



Proses tanam bakteri *Escherichia coli* pada susu sapi



Proses inkubasi susu yang sudah ditanami bakteri *Escherichia coli*



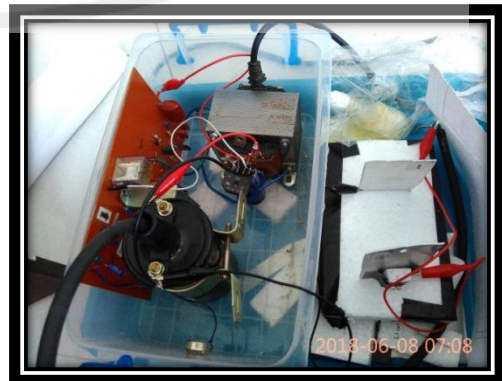
Persiapan sterilisasi



Gambar Alat dan Bahan Setelah Disterilisasi



Proses pemasakan media NA



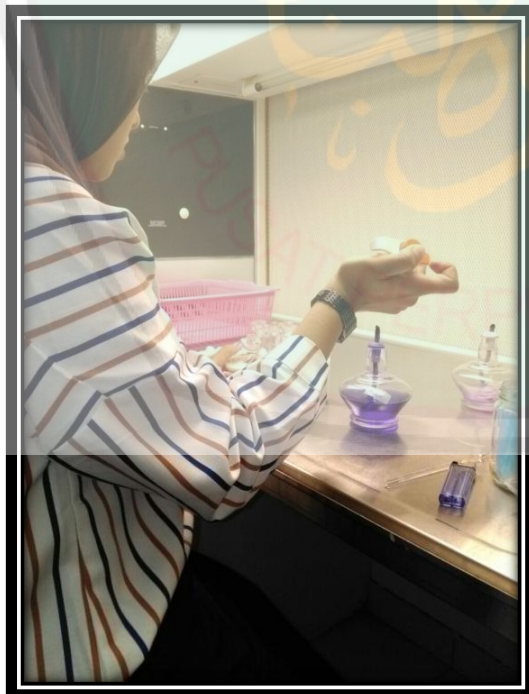
Rancang Bangun Medan Listrik Berpulsa



Gambar Proses Pemaparan Medan Listrik Berpulsa



Gambar Proses Inkubasi



Gambar Proses Pengenceran



Proses Penghitungan Bakteri Menggunakan *Colony Counter*



Gambar Koloni Bakteri *Escherichia coli* setelah dipapari Medan Listrik Berpuls