

**OPTIMASI MEDAN LISTRIK BERPULSA UNTUK  
PENONAKTIFAN BIOFILM BAKTERI *Listeria monocytogenes***

**SKRIPSI**

Oleh:  
**GALIH ADI CHANDRA**  
NIM. 11640018



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

**OPTIMASI MEDAN LISTRIK BERPULSA UNTUK PENONAKTIFAN  
BIOFILM BAKTERI *Listeria monocytogenes***

**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:**

**GALIH ADI CHANDRA  
NIM. 11640018**

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

**HALAMAN PERSETUJUAN**

OPTIMASI MEDAN LISTRIK BERPULSA UNTUK PENONAKTIFAN  
BIOFILM BAKTERI *Listeria monocytogenes*

SKRIPSI

Oleh:  
Galih Adi Chandra  
NIM. 11640018

Telah Diperiksa dan Disetujui untuk Dituji,  
Pada tanggal, 8 Februari 2018

Pembimbing I

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

Pembimbing II

Umaiatus Syarifah, M.A  
NIP. 19820925 200901 2 005

Mengetahui,  
Ketua Jurusan Fisika



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

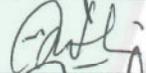
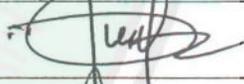
**HALAMAN PENGESAHAN**

**OPTIMASI MEDAN LISTRIK BERPULSA UNTUK PENONAKTIFAN  
BIOFILM BAKTERI *Listeria monocytogenes***

SKRIPSI

Oleh:  
Galih Adi Chandra  
NIM. 11640018

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

Penguji Utama	<u>Farid Samsu Hananto, M.T</u> NIP. 19740513 200312 1001	
Ketua Penguji	<u>Muthmainnah, M.Si</u> NIPT. 19860325 20160801 2 074	
Sekretaris Penguji	<u>Dr. H. Mokhammad Tirono, M.Si</u> NIP. 19641211 199111 1 001	
Anggota Penguji	<u>Umayyatus Syarifa M.A</u> NIP. 19820925 200901 2 005	

Mengetahui,  
Ketua Jurusan



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

## PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Galih Adi Chandra  
NIM : 11640018  
Jurusan : Fisika  
Fakultas : Sains Dan Teknologi  
Judul Penelitian : Optimasi Medan Listrik Berpulsa Untuk  
Penonaktifan Biofilm Bakteri *Listeria  
monocytogenes*

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karyanya sendiri, bukan merupakan pengambil alihan data, tulisan atau pikiran saya sendiri, kecuali dengan mencantumkan sumber kutipan pada daftar pustaka. Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan skripsi ini hasil jiplakan, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Malang, 2 Februari 2018  
Yang Membuat Pernyataan,


Galih Adi Chandra  
NIM. 11640018

## MOTTO

“Jadilah seperti akar, meski tak terlihat, tertanam di dalam tanah, dan sering terinjak-injak. Namun dia selalu ikhlas menguatkan batang, menumbuhkan daun dan bunga”



## HALAMAN PERSEMBAHAN

Karya ini kupersembahkan untuk kedua orang tua, ayahanda *Hadi Sucipto* dan ibunda tercinta *Sri Retno Wuryaningsih* yang selalu tiada henti memberi semangat, doa yang tak pernah putus, serta semangat moril maupun materi. Terima kasih atas segala kasih sayang yang selalu diberikan, tulisan ini tak pernah cukup untuk memenuhi semua pengorbanan mereka.



## KATA PENGANTAR

*AssalamualaikumWr.Wb.*

Puji syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT, atas rahmat, taufiq, serta hidayah-Nya, Sehingga penulis dapat menyelesaikan 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 terima kasih sebanyak-banyaknya kepada semua pihak yang telah membantu terselesaikannya skripsi ini. Ucapan terima kasih ini penulis sampaikan kepada:

1. Prof. Dr. H. Abdul Haris, M.Ag, selaku Rektor Universitas Islam Negeri (UIN) Maulana Malik Ibrahim Malang.
2. Dr. Sri Harini, M.Si., selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri (UIN) Maulana Malik Ibrahim Malang.
3. Drs. Abdul Basid, M.Si. selaku Ketua Jurusan Fisika Universitas Islam Negeri (UIN) Maulana Malik Ibrahim Malang.
4. Dr. H. Mokhammad Tirono, M.Si selaku Dosen Pembimbing yang telah sabar meluangkan waktunya di tengah kesibukan beliau untuk memberikan arahan, bimbingan, masukan serta motivasi pada penulis sampai terselesaikannya tugas ini.
5. Umayyatus Syarifah, M.A selaku Dosen Integrasi yang telah banyak memberikan ilmunya, memberikan arahan dan masukan dalam penyelesaian tugas ini.
6. Farid Samsu Hananto, M.T dan Muthmainnah, M.Si, sebagai dosen penguji yang telah memberikan saran-saran terbaiknya.
7. Ahmad Abtokhi M.Pd sebagai dosen wali yang telah mem berikan saran serta arahan selama proses perkuliahan.
8. Segenap dosen Fisika Fakultas Sains dan Teknologi UIN Maulana malik Ibrahim Malang

9. Para Laboran dan Staf administrasi Fisika UIN Maulana Malik Ibrahim Malang
10. Ibu dan Adik serta keluarga di rumah yang selalu berdoa dan memberi dukungan secara moril dan meterial kepada penulis dalam melaksanakan segala kegiatan penyusunan skripsi ini.
11. Teman-teman Fisika angkatan 2011 yang selalu kami jadikan inspirasi dan motivasi di setiap langkah kami dan pihak-pihak lain yang selalu membantu.
12. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu, yang telah banyak membantu dalam penyelesaian skripsi ini.

Penulis berharap semoga skripsi ini bisa memberikan manfaat kepada para pembaca secara umum dan khususnya bagi penulis. Semoga skripsi ini dapat bermanfaat. Amin.

Malang, Februari 2018

Penulis

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	i
<b>HALAMAN PENGAJUAN</b> .....	ii
<b>HALAMAN PERSETUJUAN</b> .....	iii
<b>HALAMAN PENGESAHAN</b> .....	iv
<b>SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN</b> .....	v
<b>MOTTO</b> .....	vi
<b>HALAMAN PERSEMBAHAN</b> .....	vii
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	viii
<b>DAFTAR ISI</b> .....	x
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xii
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xiv
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	xv
<b>ABSTRAK</b> .....	xiv
<b>ABSTRACT</b> .....	xv
<b>مستخلص البحث</b> .....	xvi
<b>BAB I PENDAHULUAN</b>	
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	5
1.3 Tujuan Penelitian .....	5
1.4 Manfaat Penulisan .....	5
1.5 Batasan Masalah .....	5
<b>BAB II KAJIAN PUSTAKA</b>	
2.1 Medan Listrik .....	6
2.1.1 Kapasitor .....	8
2.1.2 Hubungan antara Potensial Listrik dan Medan Listrik .....	10
2.2 Bakteri .....	11
2.2.1 Struktur Bakteri .....	12
A Dinding Sel .....	12
B Membran Sitoplasma .....	13
C Sitoplasma .....	14
2.2.2 <i>Listeria Monoctogenes</i> .....	14
2.3 Biofilm .....	16
2.3.1 Proses Pembentukan Biofilm .....	17
<b>BAB III METODE PENELITIAN</b>	
3.1 Jenis Penelitian .....	20
3.2 Waktu dan Tempat Penelitian .....	20
3.3 Alat dan Bahan .....	20
3.4 Rancangan Alat .....	21
3.5 Rancangan Penelitian .....	22
3.6 Langkah-langkah Penelitian .....	23
3.5.1 Penyiapan Media NA (Nutrient Agar) .....	23
3.5.2 Penyiapan Media NB (Nutrient Borth) .....	23
3.5.3 Penumbuhan Bakteri .....	24
3.5.4 Pembuatan Biofilm .....	24
3.5.5 Perlakuan Paparan Medan Listrik .....	25

3.5.6 Perhitungan Bakteri .....	25
3.6 Teknik Pengumpulan Data .....	26
3.7 Pengolahan Data .....	28
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN</b>	
4.1 Data Hasil Penelitian.....	29
4.1.1 Pengaruh Medan Listrik terhadap Penurunan Jumlah Koloni Bakteri .....	30
4.1.2 Pengaruh Suhu terhadap Penurunan Jumlah Koloni Bakteri .....	34
4.1.3 Pengaruh Medan Listrik dan Suhu terhadap Penurunan Jumlah Koloni Bakteri .....	35
4.2 Analisis Scanning Electron Microscope(SEM) .....	46
4.3 Pembahasan .....	48
4.4 Makanan yang Higienis dalam Perspektif Islam.....	50
<b>BAB V PENUTUP</b>	
5.1 Kesimpulan .....	54
5.2 Saran.....	54
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	
<b>LAMPIRAN</b>	



## DAFTAR GAMBAR

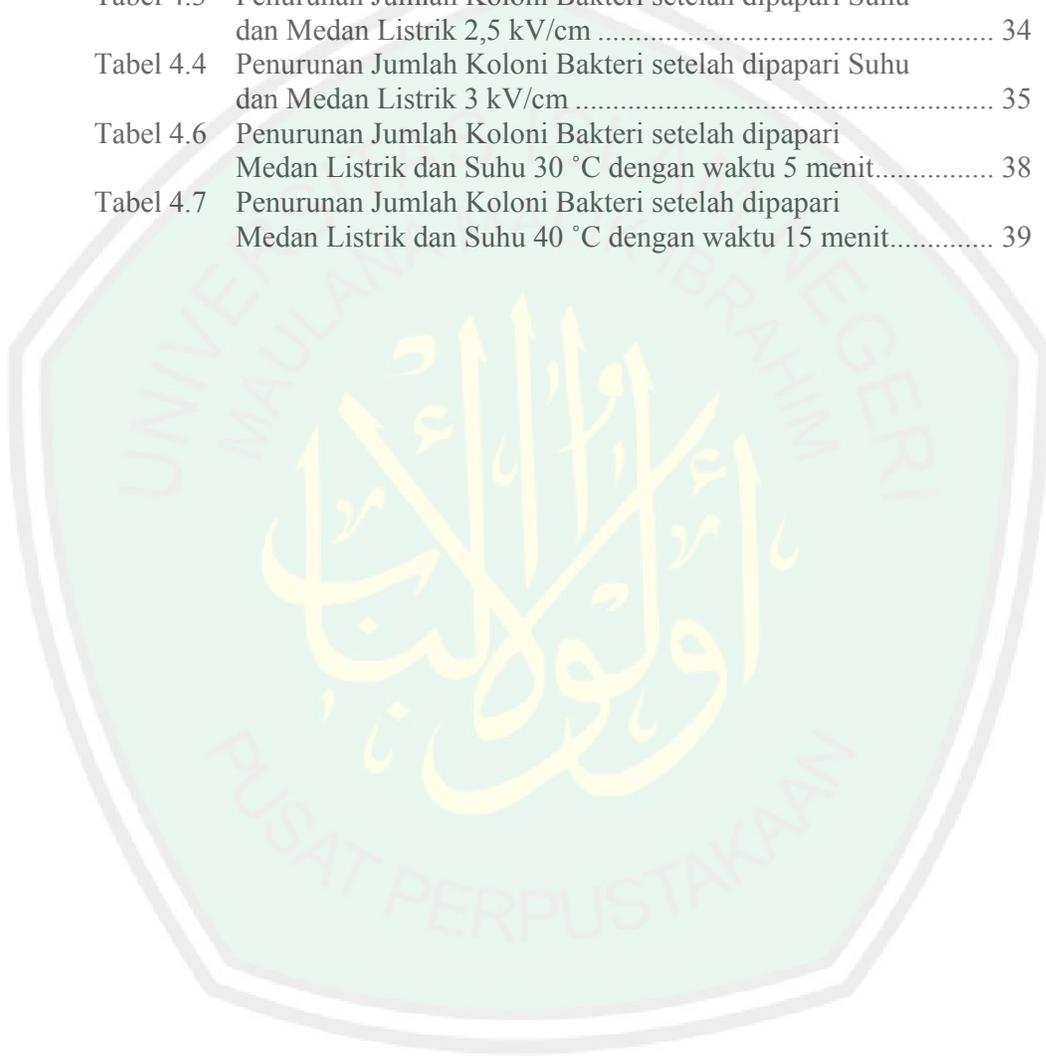
Gambar 2.1	Daerah Medan Listrik .....	6
Gambar 2.2	<i>Listeria Monocytogenes</i> .....	15
Gambar 2.3	Proses Pembentukan Biofilm .....	17
Gambar 2.4	Proses Pembentukan Biofilm Baru .....	19
Gambar 3.1	Desain Rancangan Alat .....	21
Gambar 3.1	Rancangan Penelitian .....	22
Gambar 4.1	Bentuk Pulsa Energi .....	29
Gambar 4.2	Penurunan Jumlah Koloni Bakteri Setelah Dipapari Medan Listrik Berpulsa 2,5 kV/cm, 3 kV, 3,5 kV/cm dengan Suhu 30 °C .....	32
Gambar 4.3	Penurunan Jumlah Koloni Bakteri Setelah Dipapari Medan Listrik Berpulsa 2,5 kV/cm, 3 kV, 3,5 kV/cm dengan Suhu 40 °C .....	32
Gambar 4.4	Penurunan Jumlah Koloni Bakteri Setelah Dipapari Medan Listrik Berpulsa 2,5 kV/cm, 3 kV, 3,5 kV/cm dengan Suhu 50 °C .....	33
Gambar 4.5	Penurunan Jumlah Koloni Bakteri Setelah Dipapari Suhu 30 °C, 40 °C, 50 °C dan Medan Listrik Berpulsa 2,5 kV/cm .....	36
Gambar 4.6	Penurunan Jumlah Koloni Bakteri Setelah Dipapari Suhu 30 °C, 40 °C, 50 °C dan Medan Listrik Berpulsa 3 kV/cm .....	36
Gambar 4.7	Penurunan Jumlah Koloni Bakteri Setelah Dipapari Suhu 30 °C, 40 °C, 50 °C dan Medan Listrik Berpulsa 3,5 kV/cm .....	37
Gambar 4.8	Penurunan Jumlah Koloni Bakteri Setelah Dipapari Medan Listrik Berpulsa 2,5 kV/cm, 3 kV, 3,5 kV/cm dengan Suhu 30 °C, dan Waktu 10 Menit .....	40
Gambar 4.9	Penurunan Jumlah Koloni Bakteri Setelah Dipapari Medan Listrik Berpulsa 2,5 kV/cm, 3 kV, 3,5 kV/cm dengan Suhu 40 °C, dan Waktu 25 Menit .....	41
Gambar 5.0	Gradien Medan Listrik pada suhu 40 °C dengan lama pemaparan 5 Menit .....	42
Gambar 5.1	Gradien Medan Listrik pada suhu 40 °C dengan lama pemaparan 15 Menit .....	42
Gambar 5.2	Gradien Medan Listrik pada suhu 40 °C dengan lama pemaparan 25 Menit .....	42
Gambar 5.3	Gradien Medan Listrik pada suhu 50 °C dengan lama pemaparan 5 Menit .....	44
Gambar 5.4	Gradien Medan Listrik pada suhu 50 °C dengan lama pemaparan 15 Menit .....	44
Gambar 5.5	Gradien Medan Listrik pada suhu 50 °C dengan lama pemaparan 25 Menit .....	45

Gambar 5.6	Citra Scanning Electron Microscope (SEM) Biofilm <i>Listeria Monocytogenes</i> yang Terbentuk Selama 6 Hari dengan Skala Perbesaran 6000 Kali .....	46
Gambar 5.7	Citra Scanning Electron Microscope (SEM) Setelah Pemaparan Dengan Medan Listrik 3,5 kV Pada Suhu 30 °C Dalam Jangka Waktu 25 Menit Perbesaran 6000 Kali.....	47



## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Konstanta Dielektrum (20 °C).....	10
Tabel 3.1	Data Hasil Pengamatan .....	26
Tabel 4.1	Penurunan Jumlah Koloni Bakteri setelah dipapari Medan Listrik pada Suhu 30 °C .....	30
Tabel 4.2	Penurunan Jumlah Koloni Bakteri setelah dipapari Medan Listrik pada Suhu 40 °C .....	31
Tabel 4.3	Penurunan Jumlah Koloni Bakteri setelah dipapari Suhu dan Medan Listrik 2,5 kV/cm .....	34
Tabel 4.4	Penurunan Jumlah Koloni Bakteri setelah dipapari Suhu dan Medan Listrik 3 kV/cm .....	35
Tabel 4.6	Penurunan Jumlah Koloni Bakteri setelah dipapari Medan Listrik dan Suhu 30 °C dengan waktu 5 menit.....	38
Tabel 4.7	Penurunan Jumlah Koloni Bakteri setelah dipapari Medan Listrik dan Suhu 40 °C dengan waktu 15 menit.....	39



## DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1 Data Hasil Koloni Bakteri *Listeria monocytogenes*
- Lampiran 2 Persiapan Rangkaian Alat
- Lampiran 3 Alat dan Bahan Penelitian
- Lampiran 4 Hasil Uji Laboratorium
- Lampiran 5 Bukti Konsultasi Skripsi



## ABSTRAK

Chandra, Galih Adi. 2018. **Optimasi Medan Listrik Berpulsa untuk Penonaktifan Biofilm Bakteri *Listeria Monocytogenes***. Jurusan Fisika. Fakultas Sains dan Teknologi. Universitas Islam Negeri (UIN) Maulana Malik Ibrahim Malang. Pembimbing (I) Dr. H. Mokhammad Tirono, M.Si (II) Umaiyatus Syarifah M.A.

---

**Kata kunci:** medan listrik, biofilm, *Listeria monocytogenes*

Medan listrik merupakan daerah atau ruang di sekitar benda yang bermuatan listrik. Medan listrik diperoleh dari 2 plat kapasitor yang diberi tegangan listrik. Penelitian ini menggunakan biofilm bakteri *Listeria Monocytogenes* yang diinkubasi selama 6 hari. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh kuat medan listrik berpulsa, lama pemaparan dan suhu lingkungan terhadap penurunan bakteri *Listeria Monocytogenes*.

Proses penumbuhan bakteri *Listeria Monocytogenes* dilakukan pada media NA selama 24 jam dan berikutnya ditumbuhkan pada medium NB dan kateter yang sudah disterilkan selama 24 jam. Proses pemaparan dilakukan dengan cara meletakkan sampel biofilm diantara 2 plat kapasitor dengan variasi kuat medan listrik berpulsa sebesar 2,5 kV/cm, 3 kV/cm, 3,5 kV/cm dan lama pemaparan 5 menit, 10 menit, 15 menit, 20 menit, 25 menit. Setelah dipapari bakteri ditumbuhkan pada medium NB selama 24 jam dan berikutnya diencerkan dengan aquades untuk dihitung jumlah koloninya.

Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa kuat medan listrik berpulsa, lama pemaparan dan suhu lingkungan mempengaruhi jumlah koloni bakteri *Listeria Monocytogenes*. Penghambatan pertumbuhan bakteri yang optimal yaitu pada kuat medan 3,5 kV/cm, lama pemaparan 25 menit dan suhu lingkungan 50 °C dengan jumlah koloni menurun sebesar 4,917 log CFU/ml. Bakteri mengalami kerusakan pada membrane sel, jadi semakin besar kuat medan listrik, maka semakin besar pula penurunan jumlah bakteri. Bakteri mengalami elektroporasi yang menyebabkan tegangan transmembran meningkat, sehingga membran sel mengalami kerusakan.

## ABSTRACT

Chandra, Galih Adi. 2018 . **The Optimization of Pulsed Electrical Fields for inactivation Biofilm Bacterial *Listeria Monocytogenes***. Physics Department. Faculty of Science and Technology. State Islamic University (UIN) Maulana Malik Ibrahim Malang. Advisor (1) Dr. H. Mokhammad Tirono, M.Si (II) Umaiatus Syarifah M.A

---

**Keywords:** electric fields, biofilms, *Listeria monocytogenes*

Electric field is the area or space around the object that is electrically charged. The electric field is obtained from 2 capacitor plates that are given an electric voltage. This study used *Listeria Monocytogenes* bacteria biofilm which was incubated for 6 days. The purpose of this research is to know the effect of strength of influence in pulsed electric field, the duration of exposure and environmental temperature to the decrease of *Listeria Monocytogenes* bacteria .

The growing process of *Listeria Monocytogenes* bacterial is done on NA media for 24 hours and subsequently grown on NB medium and sterilized catheters for 24 hours. The exposure process is done by placing a biofilm sample between 2 capacitor plates with variations in pulsed electric field strength of 2.5 kV/cm, 3 kV cm 3.5 kV/cm and exposure time 5 minutes, 10 minutes, 15 minutes, 20 minutes, 25 minutes. After being exposure, the bacteria is grown in NB medium during 24 hours and next it is diluted with distilled water to count the number of colonies.

The results of this study show that pulsed electric field strength, long exposure and environmental temperature affect the number of *Listeria Monocytogenes* bacterial colonies. The optimal inhibition of growth of the bacteria is that on the field strength 3.5 kV/cm, long exposure of 25 minutes and an ambient temperature of 50°C with the number of colonies decreased by 4,917 log CFU/ml . Bacteria is damaged in the its cell membrane, therefore the greater the strong field, the greater the decrease in the number of bacteria. The bacteria undergoes electroporation which causes transmembrane voltage to increase, so the cell membrane is damaged.

## ملخص

تشاندر، غاليه عدي. ٢٠١٨. أمثالية المجال الكهربائي النبضي لوقف بيوفيلم البكتيريا ليستيريا مونوسيتوجينيس. قسم الفيزياء. كلية العلوم والتكنولوجيا. جامعة مولانا مالك إبراهيم الإسلامية الحكومية مالانج. المشرف الأول (I) الدكتور الحاج محمد تيرونو الماجستير، المشرف الثاني (II) أمية الشريفة الماجستير.

الكلمات المفتاحية: المجال الكهربائي، بيوفيلم، ليستيريا مونوسيتوجينيس

المجال الكهربائي هو المنطقة أو الفضاء حول ما يتم شحنه كهربائياً. يُحصل المجال الكهربائي من لوحين مكثفتين تعطيا الجهد الكهربائي. يستخدم هذا البحث بيوفيلم البكتيريا ليستيريا مونوسيتوجينيس تحضينها لمدة ٦ أيام. وأما أغراض البحث هي معرفة تأثير المجال الكهربائي النبضي، ومدة التعرض ودرجة البيئة إلى انخفاض البكتيريا ليستيريا مونوسيتوجينيس.

وكانت عملية نشأة ليستيريا مونوسيتوجينيس يتم إجراؤها في معينات NA لمدة ٢٤ ساعة، والتالي أنشئت في المجال المتوسط NB والقسطرة المعقمة لمدة ٢٤ ساعة. وتُعد عملية العرض بوضع عينة بيوفيلم بين ٢ لوحين مكثفتين مع تنوع الشد في مجال الكهرباء النباض على ٢٠٥ kV/cm : ٣ kV/cm ٣٠٥ kV/cm ووقت التعرض ٥ دقائق، ١٠ دقائق، ١٥ دقيقة، ٢٠ دقيقة، ٢٥ دقيقة. وبعد عرض البكتيريا يكون نشأته على متوسط NB لمدة ٢٤ ساعة ثم تضعف مع اكوايس لحساب عدد المستعمرات.

وتشير نتائج البحث إلى أن شدة المجال الكهربائي النبضي ومدة التعرض ودرجة البيئة تؤثر على عدد المستعمرات البكتيرية ليستيريا مونوسيتوجينيس. وأما العائق البالغ لنمو البكتيريا هو على قوة المجال ٣٠٥ kV/cm، ومدة العرض ٢٥ دقيقة ودرجة البيئة ٥٠ C<sup>0</sup> مع عدد المستعمرات بنسبة ٤،٩١٧ log CFU/ml. وتنفأ البكتيريا في غشاء طبلة الخلية، إذا، أن أكبر قوة المجال الكهربائي، فزاد الانخفاض في عدد من البكتيريا. وتصيب البكتيريا اليكتروبوراسي يسبب إلى ارتفاع جهد الغشاء حتى يتلف غشاء الخلية.

## BAB I PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Kebutuhan akan bahan pangan merupakan kebutuhan yang mendasar bagi manusia dalam mempertahankan kehidupannya, oleh karena itu pemenuhan bahan makanan yang baik serta bernilai gizi seimbang sangat diperlukan. Mengingat pada saat ini tuntutan masyarakat akan produk pangan yang aman dan tetap memiliki kesegaran dari waktu ke waktu cenderung meningkat sejalan dengan penambahan penduduk, perkembangan ekonomi, perubahan pola hidup, peningkatan kesadaran akan gizi, dan perbaikan pendidikan masyarakat. Hal ini yang membuat pemenuhan kebutuhan bahan pangan menjadi sasaran utama kebijakan pemerintah suatu negara.

Pada tahun 2015, tiga orang di Kansas dinyatakan meninggal setelah mengkonsumsi es krim *Blue bell creameries* yang diduga es krim tersebut terkontaminasi bakteri *Listeria monocytogenes*. Menurut Pusat Pengendalian dan Pencegahan Penyakit sekitar 1600 orang Amerika terkena penyakit yang dikarenakan bakteri *Listeria monocytogenes* setiap tahun. Bakteri ini adalah penyebab utama ketiga kematian yang diakibatkan oleh keracunan makanan. Ini adalah bakteri yang sama yang mengontaminasi apel karamel dari California pada Januari tahun lalu. Saat itu, sebanyak 35 orang di 12 negara jatuh sakit, dan menewaskan tujuh orang (Suryadjaja, 2015).

*Listeria monocytogenes* merupakan bakteri patogen pada manusia dan hewan. Bakteri ini berperan penting sebagai salah satu penyebab dari *foodborne disease*

yaitu penyakit yang ditularkan melalui makanan. Penyakit yang disebabkan oleh bakteri ini disebut *Listeriosis*. Manusia dapat terinfeksi *Listeria monocytogenes* apabila mengonsumsi produk pangan yang terkontaminasi atau kontak langsung dengan hewan terinfeksi. Gejala klinis penyakit yang tampak pada manusia umumnya seperti demam, muntah, kelelahan, mual, dan diare. Apabila *Listeriosis* tidak diobati maka dapat berkembang menjadi bakteriemia dan meningitis.

Pada wanita hamil dapat menyebabkan terjadinya keguguran, bayi meninggal, bayi yang dilahirkan terinfeksi meningitis. Pada anak-anak, orang tua dan orang dewasa dengan sistem kekebalan yang lemah, bakteri dapat menyerang sistem syaraf pusat dan masuk ke dalam sirkulasi darah, menyebabkan pneumonia. Abses dan lesi pada kulit juga dapat terlihat. Perlu diketahui bahwa gejala klinis yang terlihat tergantung pada umur manusia, kondisi kesehatan dan strain bakteri yang menginfeksi (Ariyanti, 2010).

Standar Nasional Indonesia telah menetapkan bahwa produk makanan asal hewan di Indonesia tidak boleh mengandung *Listeria sp.* karena *Listeria monocytogenes* merupakan salah satu penyebab penyakit yang serius dengan tingkat kematian mencapai 20-30 %. Bakteri tersebut tahan terhadap panas, asam, garam dan dapat tumbuh pada suhu 4 °C sehingga dapat ditemukan pada produk makanan yang sudah diolah. Kontaminasi pada produk pangan yang sudah diolah merupakan titik kritis untuk kesehatan manusia (Andini dkk, 2002).

Secara tersirat Allah swt telah mengingatkan kita agar selalu memperhatikan makanan yang dikonsumsi. Firman Allah dalam dalam Q.S. Abasa (80) ayat 24:

فَلْيَنْظُرِ الْإِنْسَانُ إِلَى طَعَامِهِ ۚ ﴿٢٤﴾

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

Ayat al-Quran di atas memerintahkan manusia agar selalu mempertimbangkan makanan yang dikonsumsi. Makna dari *فَلْيَنْظُرِ* bisa berarti melihat, mempertimbangkan, memikirkan, memperhitungkan, dari ayat ini Allah SWT mengarahkan manusia agar memperhatikan dan memikirkan makanannya, dan bagaimana makanan itu sampai kepadanya setelah melalui banyak tahapan. Dengan demikian manusia harus memperhatikan bahwa makanannya harus bersih, sehat, bisa dikonsumsi dan halal.

Alternatif yang sering digunakan pada makanan atau minuman menggunakan proses *non-thermal*, yakni dengan pulsa tegangan tinggi atau pulsa medan listrik (PEF). Medan listrik ini sangat berpotensi baik untuk penonaktifan bakteri dengan menggunakan medan listrik pulsa bertegangan tinggi. Menurut Ayu (2015), telah dilakukan pemaparan medan listrik untuk menghambat pertumbuhan biofilm *Listeria monocytogenes*, menunjukkan penghambatan pertumbuhan bakteri yaitu pada kuat medan 3.5 kV/cm dengan lama pemaparan 25 menit dan suhu lingkungan 50 °C dengan jumlah koloni sebesar 0.2 x 10<sup>8</sup> CFU/ml. Hal ini diperkuat dengan pendapat Tirono (2013) yang menyatakan bahwa penghambatan pengembangbiakan bakteri dapat menggunakan medan listrik AC didasarkan pada terjadinya elektroporasi pada membran sel bakteri, sehingga menyebabkan pori

tidak bekerja seperti fungsinya. Elektroporasi terjadi karena medan listrik menyebabkan pergeseran muatan pada sel bakteri, sehingga terpolarisasi. Polarisasi muatan menyebabkan terbentuknya pori hidrofilik dan peningkatan tegangan transmembran. Tingginya tegangan transmembran menyebabkan rusaknya membran sel dan dengan adanya pori hidrofilik menyebabkan aliran materi intraseluler. Namun, kekurangan dari metode medan listrik (PEF) adalah penggunaan tegangan yang sangat tinggi. Efek utama dengan pengaruh medan listrik yang diberikan pada sel mikroorganisme adalah untuk meningkatkan permeabilitas membran. Medan listrik yang rendah juga telah diterapkan untuk mengontrol bau dan higienis keadaan bubuk limbah.

Penelitian terdahulu untuk menghambat pembiakan bakteri menggunakan medan listrik berpulsa telah dilakukan oleh Geveke D.J. dan Kozempel M. F. Sampel penelitian adalah bakteri *Candida stellata*, *Escherichia coli*, *Listeria innocua*, dan *Saccharomyces cerevisiae*. Medan listrik berpulsa yang digunakan mempunyai tegangan puncak 2,5 kV/mm, durasi pulsa 0,3 ms. Penelitian ini dilakukan dengan variasi jumlah pulsa yaitu dari 0 sampai 20 pulsa. Hasil penelitian menunjukkan bahwa dengan lima pulsa bakteri *Saccharomyces cerevisiae* berkurang  $3.3 \pm 0.6$  log cfu/mL dan *Candida stellafa* berkurang  $3.5 \pm 0.2$  log cfu/mL. Dengan dua puluh pulsa bakteri *Eschenchia coli* berkurang  $1.3 \pm 0.4$  log cfu/mL dan *Listeria innocua* berkurang 2,5 log cfu/ml pada pH 6,6. Kelemahan dari penelitian ini adalah pengurangan jumlah bakteri relatif kecil.

Diharapkan dari penelitian ini, dapat menyempurnakan dan melengkapi penelitian-penelitian terdahulu serta dapat memberikan informasi bahwa dengan

medan listrik, suhu serta lama paparan dapat digunakan untuk menonaktifkan bakteri dengan hasil maksimal.

### 1.2 Rumusan Masalah

- 1) Bagaimana pengaruh pemaparan medan listrik berpulsa terhadap penurunan biofilm bakteri *Listeria monocytogenes*?
- 2) Bagaimana pengaruh pemaparan suhu terhadap penurunan biofilm bakteri *Listeria monocytogenes*?
- 3) Bagaimana pengaruh pemaparan medan listrik berpulsa dan suhu terhadap penurunan biofilm bakteri *Listeria monocytogenes*?

### 1.3 Tujuan

- 1) Untuk mengetahui pengaruh pemaparan medan listrik berpulsa terhadap penurunan biofilm bakteri *Listeria monocytogenes*?
- 2) Untuk mengetahui pengaruh pemaparan suhu terhadap penurunan biofilm bakteri *Listeria monocytogenes*?
- 3) Bagaimana pengaruh pemaparan medan listrik berpulsa dan suhu terhadap penurunan biofilm bakteri *Listeria monocytogenes*?

### 1.4 Manfaat

- 1) Dapat memberikan informasi tentang optimasi penonaktifan bakteri *Listeria monocytogenes* pada biofilm menggunakan medan listrik.
- 2) Dapat diaplikasikan untuk sterilisasi alat-alat medis, sehingga alat tersebut menjadi lebih tahan lama.

### 1.5 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini yaitu pada pembahasan mengenai pengaruh medan listrik, suhu serta lama paparan terhadap penurunan jumlah bakteri *Listeria monocytogenes* yang membentuk biofilm.

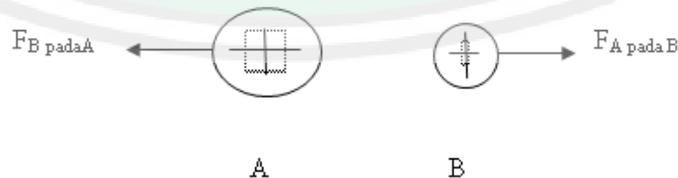
## BAB II KAJIAN PUSTAKA

### 2.1 Medan Listrik

Medan adalah suatu besaran yang mempunyai harga pada tiap titik dalam ruang. Secara matematis dapat dikatakan bahwa medan adalah sesuatu yang merupakan fungsi kontinu dari posisi dalam ruang. Adanya muatan listrik di dalam ruang akan menyebabkan setiap muatan listrik yang berada di dalam ruang itu mengalami gaya elektrostatis. Oleh sebab itu dikatakan bahwa muatan listrik akan menimbulkan medan listrik disekitarnya. Medan listrik dikatakan kuat apabila gaya pada muatan listrik di dalam ruang bermedan listrik itu besar.

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. Medan listrik memiliki satuan N/C atau dibaca Newton/Coulomb. Sedangkan gaya listrik adalah gaya yang dialami oleh obyek bermuatan yang berada dalam medan listrik.

Jadi suatu titik dikatakan berada dalam medan listrik apabila suatu benda yang bermuatan listrik ditempatkan pada titik tersebut akan mengalami gaya listrik.



Gambar 2.1 Titik B berada di dalam daerah medan listrik yang disebabkan oleh benda bermuatan A (Giancoli, 2001).

Rumus gaya listrik sebagaimana dilambangkan dengan huruf  $F$  adalah:

$$\vec{F} = q \vec{E} \quad (2.1)$$

dengan  $q$ : muatan obyek

$\vec{E}$ : medan listrik

Sedangkan rumus untuk medan listrik dapat ditentukan melalui hukum Coulomb yaitu (Soedoyo, 1999):

$$F = k \frac{Q_1 Q_2}{r^2} \quad (2.2)$$

yakni yang mengatakan bahwa gaya antara 2 muatan listrik  $q_1$  dan  $q_2$  akan sebanding dengan banyak muatan listrik masing-masing serta berbanding terbalik dengan kuadrat jarak ( $r$ ) antara kedua muatan listrik tersebut, serta tergantung pada medium dimana kedua muatan berada yang dalam perumusannya dinyatakan oleh suatu tetapan medium  $k$ . Pada satuan SI,  $k$  memiliki nilai (Giancoli, 2001):

$$k = 8,988 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{C}^2 \approx 9,0 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{C}^2$$

Konstanta  $k$  biasanya sering ditulis dalam konstanta yang lain,  $\epsilon_0$ , yang disebut permitivitas ruang hampa. Konstanta ini dihubungkan dengan  $k = 1/4\pi\epsilon_0$ . Dengan demikian hukum Coulomb dapat dituliskan (Giancoli, 2001):

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q_1 Q_2}{r^2} \quad (2.3)$$

Dimana  $\epsilon_0 = \frac{1}{4\pi k} = 8,85 \times 10^{-12} \text{ C}^2/\text{N} \cdot \text{m}^2$ .

Dengan  $F$  positif berarti gaya itu tolak-menolak dan sebaliknya  $F$  negatif berarti tarik-menarik. Jadi berdasarkan hukum Coulomb di atas, kuat medan listrik oleh titik muatan listrik  $q$  adalah (Giancoli, 2001):

$$E = \frac{F}{q}$$

$$= k \frac{qQ/r^2}{q}$$

$$= k \frac{Q}{r^2} [\text{satu muatan titik}]$$

Atau dalam  $\epsilon_0$  menjadi:

$$\vec{E} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q}{r^2} [\text{satu muatan titik}] \quad (2.4)$$

Garis-garis medan listrik dapat digunakan untuk membuat sketsa medan-medan listrik. Garis yang melewati suatu titik, pada titik tersebut memiliki arah yang sama dengan medan listrik. Ketika garis-garis medan paling berdekatan, maka medan listriknya paling besar. Garis-garis medan keluar dari muatan-muatan positif (karena muatan positif menolak muatan uji positif) dan menuju muatan-muatan negatif (karena mereka menarik muatan uji positif) (Halliday, 1990).

### 2.1.1 Kapasitor

Kapasitor atau yang biasanya sering disebut sebagai kondensator, adalah sebuah alat yang dapat menyimpan muatan listrik, dan terdiri dari dua benda yang merupakan penghantar (biasanya pelat atau lembaran) yang diletakkan berdekatan tetapi tidak saling menyentuh (Giancoli, 2001). Sedangkan menurut Soedjo (1999) kondensator adalah sistem konduktor yang mampu menyimpan rapat (*to condense*) muatan listrik sehingga memiliki daya tampung, yaitu kapasitas yang besar sehingga disebut kapasitasnya besar.

Jika kapasitor diberi tegangan, maka jumlah muatan  $Q$  yang didapat oleh setiap pelat sebanding dengan beda potensial  $V$  (Giancoli, 2001):

$$Q = C V \quad (2.5)$$

Konstanta pembanding  $C$ , pada hubungan ini disebut kapasitansi dari kapasitor tersebut. Satuan kapasitansi adalah coulomb per volt, dan satuannya disebut farad (F). Sebagian besar kapasitor memiliki kapasitansi dalam kisaran 1 pF (pikofarad= $10^{-12}$  F) sampai 1  $\mu$ F (mikofarad= $10^{-6}$  F). Kapasitansi  $C$  adalah konstanta untuk sebuah kapasitor tertentu; tidak bergantung pada  $Q$  atau  $V$ . Nilainya hanya bergantung pada struktur dan dimensi kapasitor itu sendiri.

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

$$C = \epsilon_0 \frac{A}{D} \quad (2.6)$$

Konstanta  $\epsilon_0$  adalah permitivitas hampa udara yang mempunyai nilai  $8,85 \times 10^{-12}$  C<sup>2</sup>/N.m<sup>2</sup>. Jika suatu dielektrik diletakkan antara kedua konduktor, kapasitansinya akan naik sebesar faktor  $K$  yang dikenal sebagai konstanta dielektrik. Maka untuk kapasitor pelat sejajar (Giancoli, 2001):

$$C = K \epsilon_0 \frac{A}{D} \quad (2.7)$$

Persamaan ini juga dapat dituliskan:

$$C = \epsilon \frac{A}{D} \quad (2.8)$$

Dimana

$$\varepsilon = K\varepsilon_0 \quad (2.9)$$

Yang merupakan permitivitas bahan tersebut.

Tabel 2.1 Konstanta Dielektrikum (20°C) (Giancoli, 2001):

No.	Bahan	Konstanta Dielektrikum, $K$
1	Hampa udara	1,0000
2	Udara (1 atm)	1,0006
3	Parafin	2,2
4	Karet, padatan	2,8

### 2.1.2 Hubungan antara Potensial Listrik dan Medan Listrik

Efek distribusi muatan dapat dideskripsikan dengan medan listrik atau potensial listrik. Ada hubungan yang erat untuk kasus medan listrik seragam, seperti antara pelat sejajar yang beda potensialnya adalah  $V_{ba}$ . Kerja yang dilakukan oleh medan listrik untuk memindahkan muatan positif  $q$  dari  $b$  ke  $a$  adalah (Giancoli, 2001):

$$W = q V_{ba} \quad (2.10)$$

Kerja  $W$  bisa juga dituliskan sebagai gaya  $F$  dikalikan jarak  $d$ . Sedangkan untuk gaya  $F$  pada  $q$  adalah  $F = qE$ , dimana  $E$  adalah medan listrik seragam antara kedua plat tersebut. Dengan demikian (Giancoli, 2001):

$$W = Fd = qEd \quad (2.11)$$

Dimana  $d$  adalah jarak (sejajar terhadap garis-garis medan) antara titik-titik  $a$  dan  $b$ . Jadi persamaannya (Giancoli, 2001):

$$\begin{aligned}q V_{ba} &= qEd \\V_{ba} &= Ed \\E &= V_{ba}/d\end{aligned}\tag{2.12}$$

## 2.2 Bakteri

Bakteri merupakan organisme yang sangat kecil (mikroskopik) dan pada umumnya uniseluler (bersel tunggal), dengan struktur selnya yang relatif sederhana tanpa nukleus/inti sel, *cytoskeleton*, dan organel lain seperti mitokondria dan kloroplas. Istilah bakteri berasal dari kata Latin *bacterium* (jamak, *bacteria*), yaitu kelompok terbanyak dari organisme hidup (Campbell, 2002).

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

Seringkali bakteri dikenal sebagai agen penyebab dari penyakit manusia maupun hewan (misalnya penyakit masitis yang merupakan penyakit serius pada hewan ternak). Namun, terdapat juga beberapa kelompok bakteri yang dapat memberikan manfaat antara lain bakteri yang berada dalam usus manusia yaitu bakteri *Escherichia coli* yang berperan dalam penguraian dan penyerapan gizi.

Ada juga dari beberapa bakteri yang menghasilkan antibiotik seperti streptomisin. Bakteri lain juga membantu untuk menyuburkan tanah, membantu pembuatan antibiotik dan menguraikan bahan organik mati.

Bakteri termasuk golongan prokariota yang memiliki bentuk sel sederhana. Yang membedakan antara sel prokariotik dengan sel eukariotik adalah inti selnya. Sel prokariotik tidak memiliki membran inti sel atau nukleus yang jelas sedangkan sel eukariotik memiliki membran inti sel.

### **2.2.1 Struktur Bakteri**

Bakteri tersusun atas dinding sel dan inti sel. Di sebelah luar dinding sel terdapat selubung atau kapsul. Di dalam sel bakteri tidak terdapat membran dalam (endomembran) dan organel bermembran seperti kloroplas dan mitokondria (Irianto, 2007). Berikut akan disajikan susunan dari sel bakteri:

#### **A. Dinding Sel**

Dinding sel dari suatu bakteri menentukan bentuk sel. Dinding selnya kaku sehingga memungkinkan bakteri mengatasi konsentrasi osmosis yang sangat berbeda-beda dan sitoplasma tidak dapat mengembang melampaui batas dinding yang kaku itu. Kekakuan dan kekuatan dinding sel itu terutama disebabkan oleh serat-serat yang kuat yang umumnya tersusun dari heteropolimer yang disebut peptidoglikan atau mukopeptida (Irianto, 2007).

Dengan adanya peptidoglikan ini bakteri terbagi menjadi dua yaitu Gram positif, yaitu bakteri yang bila diwarnai dengan kristal ungu atau jodium lalu dicuci dengan alkohol akan tetap mempertahankan warna ungu setelah pewarnaan. Hal ini disebabkan bakteri gram positif memiliki lapisan

peptidoglikan yang lebih tebal. Gram negatif, yaitu kebalikan gram positif dimana bakteri tersebut akan kehilangan warna ungunya setelah dicuci disebabkan peptidoglikan gram negatif lebih tipis.

Dinding sel memiliki fungsi yaitu:

- 1) Berperan dalam pembelahan sel.
- 2) Pelaksana biosintesa dinding sel itu sendiri.
- 3) Determinan antigen permukaan bakteri.

#### **B. Membran Sitoplasma**

Membran sitoplasma disebut juga membran sel. Membran sitoplasma adalah membran yang menyelubungi sitoplasma tersusun atas lapisan fosfolipid dan protein. Membran tersebut sangat penting untuk sel dan mempunyai tiga fungsi utama yaitu sebagai berikut (Irianto, 2007):

- 1) Memelihara tekanan osmosis

Memelihara tekanan osmosis intraseluler artinya membran sel bertindak sebagai penyangga osmotik dan tidak permeabel terhadap zat-zat yang mengion dan zat yang tidak mengion yang molekulnya tidak lebih besar dari gliserol.

- 2) Sistem transport aktif

Sistem ini berfungsi untuk mengeluarkan enzim ekstraseluler dan zat-zat untuk memelopori pembentukan dinding sel serta mengatur pemasukan garam-garam esensial, asam amino, dan gula-gula yang molekulnya lebih besar.

3) Menyediakan tempat untuk reaksi utama enzim

Menyediakan tempat untuk reaksi-reaksi utama enzim yang berhubungan dengan metabolisme energi.

**C. Sitoplasma**

Sitoplasma merupakan cairan sel yang memiliki komponen-komponen sebagai berikut (Campbell, 2002):

1) Materi inti

Materi inti dapat dilihat dengan mikroskop elektron dan biasanya materi inti dari suatu sitoplasma terdiri dari DNA dan RNA. Penampakan materi inti sebagai suatu jaring DNA, tidak teratur dan sering kali merupakan kumpulan paralel terhadap sumbu sel.

2) Ribosom

Ribosom merupakan partikel-partikel halus yang tersebar secara baur dalam sitoplasma sel. Ribosom ini berbeda ukuran dan kepadatannya yang disesuaikan dengan tempat asalnya.

3) Granula sitoplasma (granula penyimpanan)

Berfungsi sebagai tempat penyimpanan cadangan makanan.

4) Plasmid

Plasmid merupakan sebuah ekstra kromosomal DNA terintegrasi dalam kromosom edaran (Campbell, 2002).

**2.2.2 *Listeria monocytogenes***

*Listeria monocytogenes* awalnya diisolasi pada kelinci dan babi yang terinfeksi secara spontan pada tahun 1926 dan diberi nama *Bacterium*

*monocytogenes* karena memiliki gejala patognomonis berupa monositosis. Kemudian pada tahun 1940 seorang peneliti berhasil mengisolasi dari hati seekor gerbale (sejenis hewan percobaan laboratorium) yang kemudian diberi nama umum *Listeria*. Selanjutnya dibedakan ke dalam 7 macam spesies: *L. monocytogenes*, *L. innocua*, *L. welshimeri*, *L. seeligeri*, *L. ivanovii*, *L. grayi* dan *L. murrayi* (Sutherland, 1989).



Gambar 2.2 Bakteri *Listeria monocytogenes*

*Listeria monocytogenes* merupakan spesies yang dapat menginfeksi baik hewan maupun manusia. *L. monocytogenes* merupakan bakteri Gram positif, bersifat motil, berbentuk batang pendek, dapat berbentuk tunggal, tersusun paralel membentuk rantai pendek. Diameter sel berukuran 0,4 - 0,5  $\mu\text{m}$  dan panjang 0,5 - 2,0  $\mu\text{m}$  (Sutherland, 1989).

Pertumbuhan pada media agar dengan waktu inkubasi lebih dari 24 jam. Pada kultur yang lebih tua bakteri dapat berbentuk filamentous dengan panjang 6 - 20  $\mu\text{m}$ . Temperatur optimal untuk pertumbuhan 35 - 37  $^{\circ}\text{C}$ . Bakteri ini mampu tumbuh pada suhu 1 - 50  $^{\circ}\text{C}$  dan mampu bertahan hidup pada suhu pasteurisasi 72  $^{\circ}\text{C}$  selama 15 detik dan dapat hidup pada pH 4,3 - 9,4 (Sutherland, 1989)

*Listeria monocytogenes* bersifat intra seluler fakultatif, psikotrofil, dan mampu membentuk biofilm. Bakteri ini mempunyai flagella untuk dapat bergerak pada suhu 20-25 0C. Tidak membentuk spora, sangat kuat dan tahan terhadap efek mematikan dari proses pembekuan, pengeringan dan pemanasan (Sutherland, 1989).

Bakteri *listeria monocytogenes* memiliki yaitu (Sutherland, 1989):

*Kingdom : Bacteria*

*Phylum : Firmicutes*

*Classis : Bacilli*

*Ordo : Bacillales*

*Familia : Listeriaceae*

*Genus : Listeria*

*Species : Listeria monocytogenes*

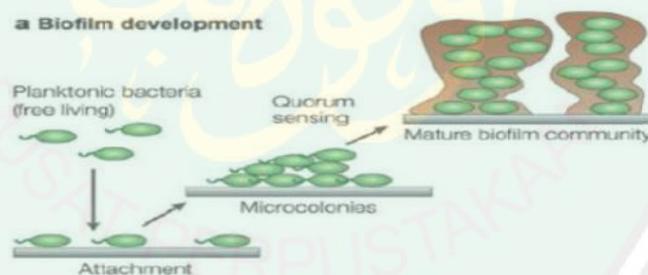
### 2.3 Biofilm

Biofilm adalah istilah yang digunakan untuk menggambarkan suatu lingkungan kehidupan yang khusus dari sekelompok mikroorganisme, yang melekat ke suatu permukaan, menjadi mikrolingkungan yang unik. Menurut Prakash (2003) biofilm merupakan pertumbuhan mikroorganisme secara terstruktur pada suatu permukaan yang padat sehingga membentuk lapisan tipis. Di dalam lapisan biofilm, mikroba cenderung tumbuh dan berkembang dengan pesat sehingga membentuk koloni terutama pada permukaan bahan yang lembab dan kaya akan nutrisi.

Di alam, biofilm terdiri dari lapisan gel yang terbentuk dari multispecies mikroorganisme dan matrik yang tersusun secara tidak beraturan serta bahan-bahan organik yang terperangkap didalamnya yang melekat kuat (*irreversibel*) pada suatu permukaan padat. Pelekatan ke suatu material terjadi dengan menggunakan matrik ekstrasellular yang dihasilkan oleh mikroorganisme tersebut yang terdiri dari polisakarida (Candra, 2006). Matrik ini berupa struktur benang-benang bersilang satu sama lain yang dapat berupa perekat bagi biofilm (Soedjo, 2004).

### 2.3.1 Proses Pembentukan Biofilm

Pembentukan biofilm bakteri melalui 3 tahapan proses yaitu tahap pelekatan bakteri pada permukaan padatan (*attachment*), kolonisasi, dan tahap pertumbuhan biofilm. Proses pembentukan biofilm bakteri dapat digambarkan seperti berikut ini :

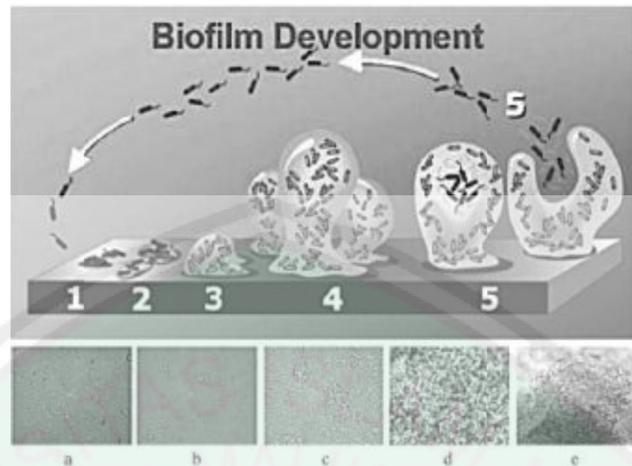


Gambar 2.3 Proses Pembentukan Biofilm

Pada tahap pelekatan, bakteri mendekati permukaan melalui gaya elektrostatis maupun gaya fisika. Pada umumnya, ketersediaan nutrisi, suhu air dan laju alir cairan yang memadai serta karakteristik bakteri seperti adanya flagela dan permukaan sel yang terasosiasi dengan polisakarida atau protein

mempercepat proses pelekatan. Selanjutnya, bakteri berasosiasi satu sama lainnya membentuk mikrokoloni. Beberapa dari sel bakteri terikat secara permanen pada permukaan material melalui pembentukan *Extracellular polymeric substance* (EPS) yang terdiri dari sejumlah besar protein, polisakarida, asam nukleat dan fosfolipid. EPS berfungsi sebagai penghubung antar permukaan sel dan menjadi inisiasi pada pembentukan biofilm. Terbentuknya biofilm sebagai strategi bagi mikroorganisme untuk mempertahankan populasinya karena adanya EPS mencegah difusi dari senyawa-senyawa toksik yang membahayakan serta mengatur pertumbuhan sel.

Sedangkan menurut MSU (*Montana State University*) (2008) bahwa proses pembentukan biofilm terdiri dari lima tahap. Pada tahap pertama, sel-sel bakteri saling menempel pada permukaan bahan akibat pengaruh gaya Van der Waals. Pada tahap ini proses pelekatan sel masih bersifat sementara, namun pada tahap kedua, sel-sel bakteri telah menempel secara permanen akibat terbentuknya material eksopolimer yang merupakan suatu senyawa perekat yang lebih kuat. Pada tahap ketiga ditandai dengan terbentuknya mikrokoloni dan biofilm mulai terbentuk. Sementara pada tahap keempat, biofilm yang terbentuk semakin banyak dan membentuk struktur tiga dimensi yang mengandung sel-sel terselubung dalam beberapa kelompok yang saling terhubung satu sama lainnya. Pada tahap terakhir, perkembangan struktur biofilm mengakibatkan terjadinya dispersi sel sehingga sel-sel tersebut berpindah dan membentuk biofilm yang baru.



Gambar 2.4 Proses Pembentukan Biofilm Baru (Donlan, 2002)

Biofilm terbentuk karena adanya interaksi antara mikroorganisme dan permukaan yang digunakan sebagai inang. Interaksi ini terjadi dengan adanya faktor-faktor yang meliputi: kelembaban permukaan, kandungan nutrisi yang tersedia, dan pembentukan matriks ekstraselular (eksopolimer) yang terdiri dari polisakarida berupa kitin,  $\beta$ -Glukan dan mannoprotein (Saleh, 2004).

Biofilm juga merupakan suatu jenis pertahanan sel. Berdasarkan studi *in vitro*, mikroorganisme dalam bentuk biofilm dapat menghindari sistem pertahanan inang dan lebih resistan terhadap serangan zat antimikroba 10-1.000 kali dibandingkan dalam keadaan sel planktonik (Saleh, 2004).

## BAB III METODE PENELITIAN

### 1.1 Jenis Penelitian

Jenis penelitian ini yaitu penelitian eksperimental. Penelitian eksperimental bertujuan untuk memperoleh data pengamatan tentang pengaruh medan listrik, suhu dan waktu pemaparan terhadap penurunan jumlah bakteri *Listeria monocytogenes* pada biofilm.

### 1.2 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian dilaksanakan pada bulan Oktober 2016 sampai selesai. Tempat penelitian dilakukan di Laboratorium Optik Jurusan Fisika dan Laboratorium Mikrobiologi Jurusan Biologi Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.

### 1.3 Alat dan Bahan Penelitian

Pada penelitian ini, alat yang digunakan adalah:

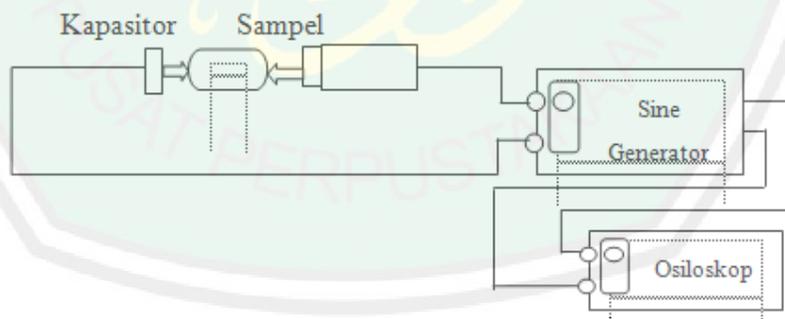
- |   |                                  |
|---|----------------------------------|
| 1) Set medan listrik                      | 10) Bunsen 1 buah                |
| 2) Kateter                                | 11) Kapas 1 pack                 |
| 3) Mikropipet 1 buah                      | 12) Tisu 1 pack                  |
| 4) Cawan petri 27 buah                    | 13) Timbangan analitik 1 buah    |
| 5) Jarum ose 1 buah                       | 14) <i>Hot Plate</i>             |
| 6) Erlenmeyer 250 ml 2 buah               | 15) <i>Stirrer</i>               |
| 7) Tabung reaksi 4 buah                   | 16) Inkubator 1 buah             |
| 8) LAF ( <i>Laminar Air Flow</i> ) 1 unit | 17) Plastik <i>wrap</i> 1 buah   |
| 9) Vortex                                 | 18) <i>Aluminium Foil</i> 1 buah |

- |                               |                                |
|-------------------------------|--------------------------------|
| 19) Spirtus                   | 24) <i>Beaker glass</i> 2 buah |
| 20) Korek api                 | 25) Botol flakon 60 buah       |
| 21) Gelas ukur 50 ml, 1 buah  | 26) Autoklaf 1 buah            |
| 22) <i>Blue tape</i> 100 buah | 27) Botol semprot 1 buah       |
| 23) Pinset 1 buah             | 28) <i>Colonycounte</i>        |

Pada penelitian ini bahan yang digunakan adalah:

- 1) Bakteri *Listeria monocytogenes*,
- 2) Aquades
- 3) NaCl
- 4) Media NA (*Nutrient Agar*)
- 5) Media NB (*Nutrient Broth*)
- 6) Alkohol

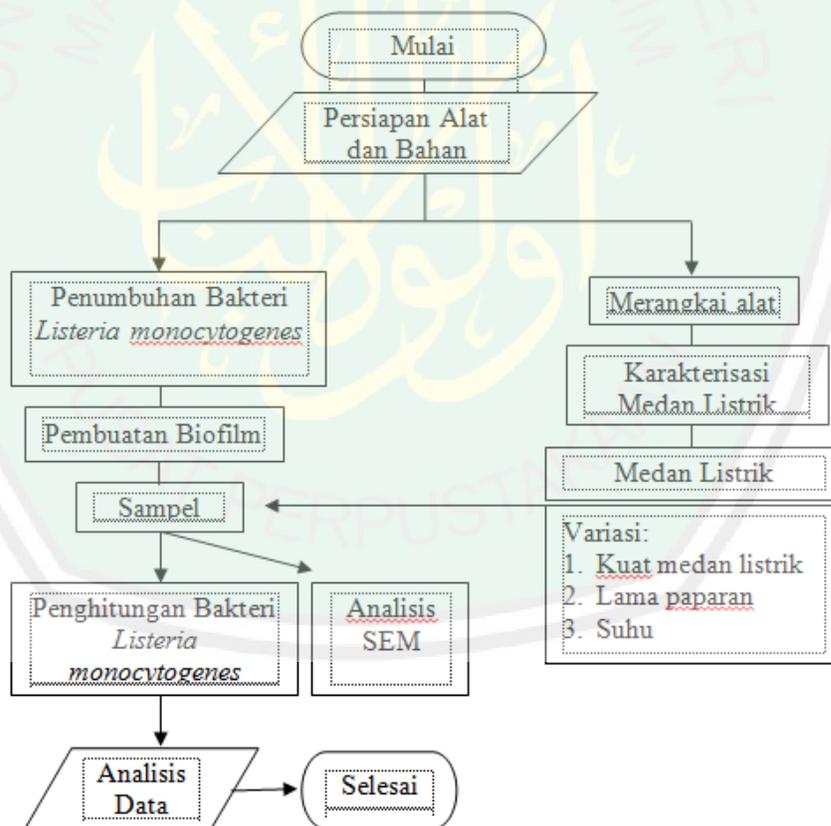
#### 1.4 Rancangan Alat



Gambar 3.1 Desain Rancangan Alat

### 1.5 Rancangan Penelitian

Sebelum penelitian dilakukan, alat dan bahan dipersiapkan terlebih dahulu. Kemudian setelah alat dan bahan sudah ada langkah yang kedua adalah menumbuhkan bakteri *Listeria monocytogenes*. Selanjutnya setelah penumbuhan bakteri kita lanjutkan dengan pembuatan biofilm, dan dihasilkan sampel. Setelah sampel jadi, kita rangkai 1 set medan listrik, kemudian barulah kita papari sampel dengan variasi kuat medan listrik, suhu dan lama paparan. Kemudian kita hitung bakteri yang sudah di papari. Hasil data yang diperoleh diolah dengan aplikasi origin 2006. Alur rancangan penelitian ini dapat dilihat pada gambar 3.2 berikut.



Gambar 3.2 Rancangan Penelitian

## 1.6 Langkah-langkah Penelitian

Adapun langkah-langkah penelitian yang dilakukan adalah:

### 1.6.1 Penyiapan Media NA (*Nutrient Agar*)

Langkah-langkah untuk membuat media NA antara lain:

- 1) Ditimbang NA sebanyak 5 gram.
- 2) Ditambahkan aquades sebanyak 250 ml kemudian dipanaskan di atas *hot plate* sampai homogen.
- 3) Dimasukkan ke dalam tabung reaksi sebanyak 5 ml dan sisanya dimasukkan ke dalam erlenmeyer kemudian ditutup dengan kapas.
- 4) Disterilisasi dalam autoklaf.
- 5) Dimiringkan tabung reaksi yang berisi media NA tersebut.
- 6) Dibiarkan media NA yang berada di dalam tabung reaksi dan erlenmeyer hingga dingin dan memadat.

### 1.6.2 Penyiapan Media NB (*Nutrient Broth*)

Langkah-langkah untuk membuat media NB antara lain:

- 1) Ditimbang NB sebanyak 2,5 gram.
- 2) Ditambahkan aquades sebanyak 250 ml kemudian dipanaskan di atas *hot plate* sampai homogen.
- 3) Dimasukkan masing-masing 50 ml ke dalam botol dan ditutup dengan kapas kemudian disterilisasi dalam autoklaf.
- 4) Dibiarkan hingga dingin.

### 1.6.3 Penumbuhan Bakteri

Langkah-langkah untuk menumbuhkan bakteri *Listeria monocytogenes* antara lain:

- 1) Disterilisasi alat dengan cara dibungkus dengan plastik tahan panas kemudian dimasukkan ke dalam autoklaf.
- 2) Diambil 1 ose biakan murni bakteri *Listeria monocytogenes* dan dimasukkan ke dalam media NA miring dalam tabung reaksi kemudian diinkubasi selama 24 jam. Media NA ini sebagai stok penyimpanan bakteri.

### 1.6.4 Pembuatan Biofilm

Langkah-langkah untuk membuat biofilm dari bakteri *Listeria monocytogenes* antara lain:

- 1) Dicuci lempengan kateter yang berukuran 1x1 cm lalu disterilkan di dalam autoklaf. Lempengan kateter digunakan untuk substrat pelekatan biofilm.
- 2) Diambil 1 ose bakteri dari media NA dan dimasukkan ke dalam 50 ml media NB cair.
- 3) Dimasukkan 3 lempengan kateter ke dalam media NB sebanyak 50 ml.
- 4) Diinkubasi selama 3 hari
- 5) Dilakukan uji SEM untuk melihat banyaknya bakteri yang menempel pada lempengan kateter.
- 6) Digunakan sampel biofilm yang telah diinkubasi selama 3 hari kemudian diberi perlakuan medan listrik.

### 1.6.5 Perlakuan Paparan Medan Listrik

Langkah-langkah dalam pemberian perlakuan medan listrik antara lain:

- 1) Diberi paparan medan listrik pada biofilm yang telah tertempel di kateter (di uji hasil biofilm menggunakan mikroskop) dengan variasi medan listrik 2,5 kV, 3 dan 3,5 kV, lama paparan 5 menit, 10 menit, 15 menit, 20 menit, 25 menit serta variasi suhu 30 °C, 40 °C, 50 °C.
- 2) Diulangi sebanyak 3 kali pada sampel yang berbeda.

### 1.6.6 Penghitungan Bakteri

Langkah-langkah untuk menghitung bakteri *Listeria monocytogenes* yang telah nonaktif melalui proses pengenceran antara lain:

- 1) Dimasukkan cawan petri dan botol flakon yang telah berisi aquades ke dalam autoklaf untuk disterilisasi.
- 2) Dimasukkan kateter yang telah dipapari medan listrik ke dalam 10 ml NaCl 0,9% pada botol flakon.
- 3) Divorteks selama 1 menit untuk melepas sel biofilm.
- 4) Diambil 0,1 ml suspensi dari botol flakon yang sudah dipapari medan listrik kemudian dimasukkan ke dalam botol flakon steril yang berisi 9 ml aquades dan diberi tanda  $10^{-1}$ .
- 5) Diambil kembali 0,1 ml dari suspensi  $10^{-1}$  yang sudah dihomogenkan kemudian dimasukkan ke dalam botol flakon steril yang berisi 9 ml aquades sebagai pengenceran  $10^{-2}$ .

- 6) Diambil kembali 0,1 ml dari suspensi  $10^{-2}$  yang sudah dihomogenkan kemudian dimasukkan ke dalam botol flakon steril yang berisi 9 ml aquades sebagai pengenceran  $10^{-3}$ .
- 7) Diambil kembali 0,1 ml dari suspensi  $10^{-3}$  yang sudah dihomogenkan kemudian dimasukkan ke dalam botol flakon steril yang berisi 9 ml aquades sebagai pengenceran  $10^{-4}$ .
- 8) Dilakukan pengenceran sampai pengenceran  $10^{-7}$ .
- 9) Dituangkan suspensi pada pengenceran  $10^{-5}$  .  $10^{-6}$  .  $10^{-7}$  sebanyak 25  $\mu$ l ke dalam cawan petri steril kemudian dituangkan media NA cair kira-kira sebanyak 15 ml. Setelah itu dihomogenkan.
- 10) Dilakukan semua proses diatas secara aseptis yaitu di dekat api bunsen.
- 11) Dimasukkan ke dalam inkubator dengan posisi terbalik (bagian tutup berada dibawah) setelah media tersebut membeku.
- 12) Diinkubasi selama 24 jam.
- 13) Dihitung bakteri *Listeria monocytogenes* dan diberi tanda dengan spidol untuk menghindari penghitungan ulang.

### 1.7 Teknik Pengumpulan Data

Pada penelitian ini cara pengumpulan data untuk menentukan pengaruh pemaparan medan listrik terhadap biofilm dari bakteri *Listeria monocytogenes* dilakukan dengan cara biofilm diberi pemaparan medan listrik dengan variasi medan listrik, suhu dan lama pemaparan kemudian dihitung bakteri *Listeria monocytogenes* yang masih hidup sebelum dan sesudah dipapari medan listrik.

Tabel 3.1 Data Hasil Pengamatan

Perlakuan			Jumlah Sel Bakteri CFU/ml (10 <sup>8</sup> )			JML
Medan Listrik	Waktu	Suhu	Sample			
			1	2	3	
Kontrol						
2,5	5	30				
		40				
		50				
	10	30				
		40				
		50				
	15	30				
		40				
		50				
	20	30				
		40				
		50				
	25	30				
		40				
		50				
3	5	30				
		40				
		50				
	10	30				
		40				
		50				
	15	30				
		40				
		50				
	20	30				
		40				
		50				
	25	30				
		40				

		50				
3,5	5	30				
		40				
		50				
	10	30				
		40				
		50				
	15	30				
		40				
		50				
	20	30				
		40				
		50				
25	30					
	40					
	50					

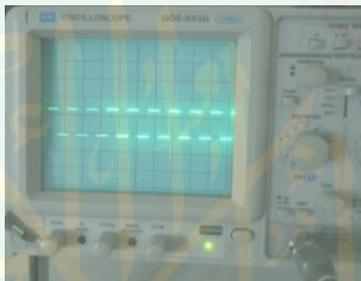
### 1.8 Pengolahan Data

Analisis deskriptif, dihitung jumlah bakteri *Listeria monocytogenes* setelah diberi pemaparan medan listrik. Jumlah bakteri yang hidup tersebut dibandingkan dengan jumlah bakteri pada kontrol (tanpa pemaparan medan listrik). Kemudian data yang diperoleh tersebut akan disajikan dalam bentuk grafik dan juga dianalisis dengan aplikasi OriginLab 8.5.1 yang bertujuan untuk membedakan antar variasi medan listrik, suhu lingkungan dan lama pemaparan sehingga dapat diketahui intensitas medan listrik, suhu lingkungan dan lama pemaparan yang paling efektif dalam penonaktifan bakteri *Listeria monocytogenes*.

## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Data Hasil Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk menonaktifkan bakteri *Listeria monocytogenes* dengan paparan kombinasi medan listrik dan suhu. Medan listrik dibangkitkan dari *power supply* 10 kV yang dihubungkan dengan pelat sejajar. Bentuk pulsa ditampilkan pada osiloskop seperti pada gambar 4.1. Suhu yang diberikan berasal dari *hot plate*.



Gambar 4.1 Bentuk Pulsa Persegi

Isolat murni bakteri *Listeria monocytogenes* diremajakan pada media NA. Satu ose bakteri hasil peremajaan dan kateter ukuran 1x1 cm<sup>2</sup> dimasukkan ke dalam media NB, diinkubasi selama 3 hari agar terbentuk biofilm. Biofilm tersebut dipapari medan listrik berpulsa 2,5 kV/cm, 3 kV/cm dan 3,5 kV/cm yang dikombinasikan dengan suhu 30 °C, 40 °C dan 50 °C selama 5 menit, 10 menit, 15 menit, 20 menit dan 25 menit.

Jumlah koloni bakteri *Listeria monocytogenes* dihitung menggunakan persamaan:

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

Penurunan jumlah koloni dihitung menggunakan persamaan:

$$\text{Penurunan bakteri} = \log \frac{N_0}{N_t} \text{ (log)} \quad 4.2$$

#### 4.1.1 Pengaruh Medan Listrik terhadap Penurunan Jumlah Koloni Bakteri

##### A. Data Hasil

Pengaruh medan listrik berpulsa terhadap bakteri *Listeria monocytogenes* ditunjukkan pada tabel 4.1. Tabel tersebut menunjukkan jumlah koloni bakteri mengalami penurunan setelah diberikan paparan medan listrik 2,5 kV/cm, 3 kV/cm, dan 3 kV/cm.

Tabel 4.1 Penurunan Jumlah Koloni Bakteri setelah dipapari Medan Listrik pada Suhu 30 °C

Medan Listrik	Penurunan (Log)					Kontrol (x10 <sup>6</sup> CFU/ml)
	Waktu (menit)					
	5	10	15	20	25	
2,5 kV/cm	0,413	0,939	1,137	1,602	1,814	29,673
3 kV/cm	0,981	1,328	1,554	1,695	2,649	
3,5 kV/cm	2,415	3,288	3,278	3,871	4,814	

Pengaruh medan listrik pada suhu lingkungan 30 °C terhadap penurunan jumlah bakteri *Listeria monocytogenes* terlihat pada tabel diatas. Bakteri diberikan paparan medan listrik 2,5 kV/cm selama 5 menit penurunan bakteri sebesar 0,413 log CFU/ml, dan ketika medan listrik dinaikkan menjadi 3,5 kV/cm dengan lama paparan 25 menit, jumlah koloni bakteri menurun sebesar 4,814 log CFU/ml.

Tabel 4.2 Penurunan Jumlah Koloni Bakteri setelah dipapari Medan Listrik pada Suhu 40 °C

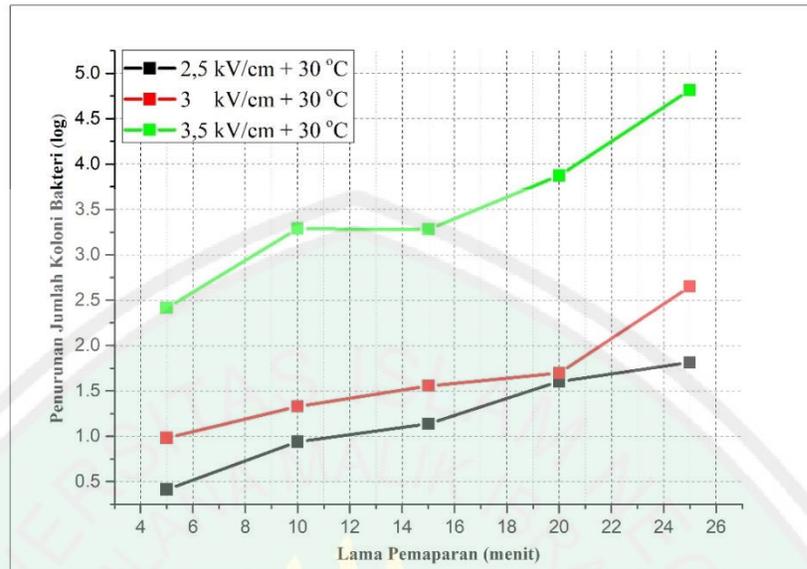
Medan Listrik	Penurunan (Log)					Kontrol (x10 <sup>6</sup> CFU/ml)
	Waktu (menit)					
	5	10	15	20	25	
2,5 kV/cm	0,465	0,990	1,163	1,632	1,871	29,673
3 kV/cm	0,996	1,353	1,618	1,752	3,804	
3,5 kV/cm	2,448	3,359	3,445	3,950	4,917	

Paparan medan listrik juga menyebabkan penurunan jumlah koloni bakteri

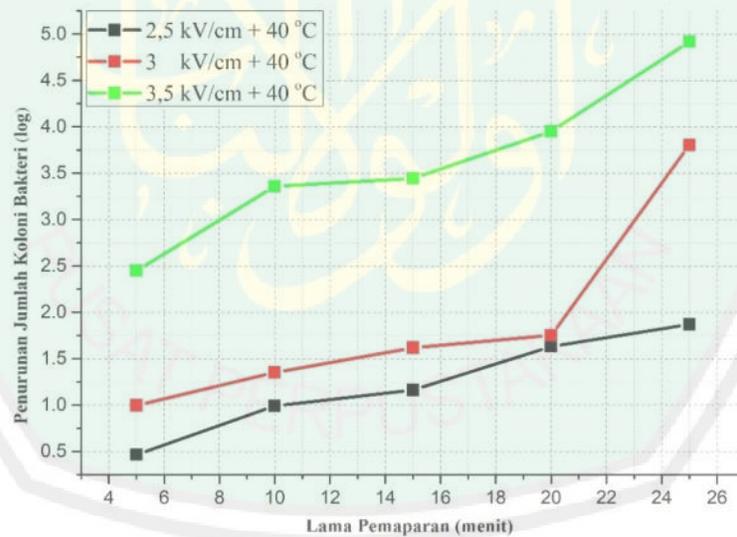
*Listeria monocytogenes* seperti yang ditunjukkan pada tabel 4.2. Kuat medan listrik berpulsa 2,5 kV/cm selama 5 menit, jumlah koloni bakteri mengalami penurunan sebesar 0,465 log CFU/ml. Penurunan jumlah koloni tersebut menjadi 4,917 log CFU/ml ketika kuat medan listrik dinaikkan menjadi 3,5 kV/cm dengan lama pemaparan 25 menit.

#### B. Analisis Hasil

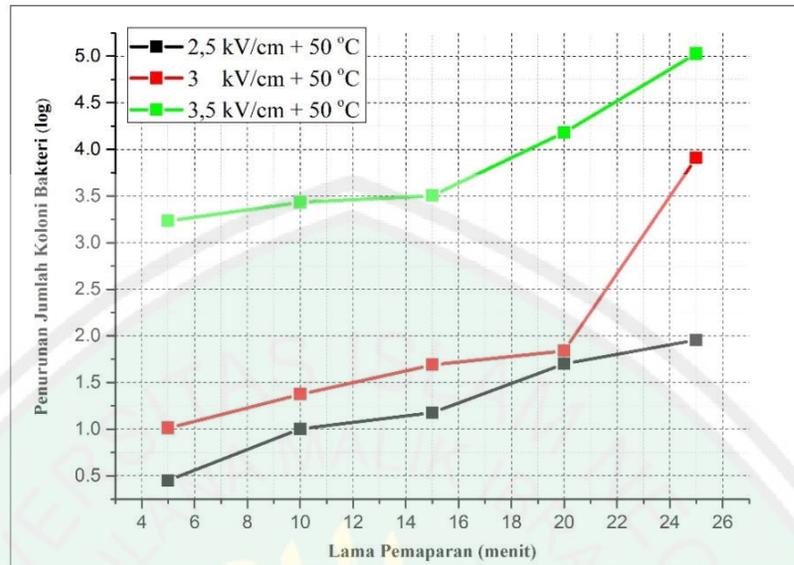
Medan listrik mempengaruhi jumlah penurunan bakteri, penurunan itu diakibatkan oleh efek elektroporasi (Apriliawan; 2012). Bakteri mengalami kerusakan pada membran sel (Fang, 2006; Apriliawan, 2012). Pernyataan diatas ditunjukkan pada gambar 4.1 dan 4.2.



Gambar 4.2 Penurunan Jumlah Koloni Bakteri setelah Dipapari Medan Listrik Berpulsa 2,5 kV/cm, 3 kV/cm dan 3,5 kV/cm 30 °C



Gambar 4.3 Penurunan Jumlah Koloni Bakteri setelah Dipapari Medan Listrik Berpulsa 2,5 kV/cm, 3 kV/cm dan 3,5 kV/cm 40 °C



Gambar 4.4 Penurunan Jumlah Koloni Bakteri setelah Dipapari Medan Listrik Berpulsa 2,5 kV/cm, 3 kV/cm dan 3,5 kV/cm 50 °C

Jumlah koloni bakteri *Listeria monocytogenes* yang diberikan paparan medan listrik berpulsa dan suhu lingkungan 30 °C mengalami penurunan yang signifikan. Gambar 4.1 dan 4.2 menunjukkan bahwa semakin besar kuat medan listrik maka semakin besar pula penurunan yang terjadi pada bakteri. Ditambah dengan lama pemaparan, menyebabkan penurunan jumlah koloni bakteri yang lebih besar. Pada pemaparan medan listrik 3 kV/cm dengan lama pemaparan 20 menit jumlah penurunan bakteri hampir sama, tetapi ketika lama pemaparan 25 menit terjadi penurunan yang besar, hal ini dikarenakan lama pemaparan juga mempengaruhi jumlah penurunan bakteri.

Medan listrik berpulsa dapat meningkatkan penurunan jumlah bakteri yang signifikan, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.1 dan gambar 4.2. Terjadi perbedaan pada pemaparan medan listrik dari 3 kV/cm ke 3,5 kV/cm. Hal ini

dikarenakan pada medan listrik 3 kV/cm bakteri masih dibawah batas ambang. Tetapi ketika medan listrik dinaikkan menjadi 3,5 kV/cm keadaan bakteri sudah melebihi batas ambang hidup. Bakteri mengalami kerusakan pada membran sel, jadi semakin besar kuat medan listrik, maka semakin besar pula penurunan jumlah bakteri. Bakteri mengalami elektroporasi yang menyebabkan tegangan transmembran meningkat, sehingga membran sel mengalami kerusakan (Apriliawan, 2012).

#### 4.1.2 Pengaruh Suhu terhadap Penurunan Jumlah Koloni Bakteri

##### A. Data Hasil

Pengaruh suhu terhadap bakteri *Listeria monocytogenes* dijelaskan pada tabel 4.4. Tabel tersebut menunjukkan jumlah koloni bakteri mengalami penurunan setelah dipapari suhu 30 °C, 40 °C, dan 50 °C.

Tabel 4.3 Penurunan Jumlah Koloni Bakteri setelah dipapari Suhu dan Medan Listrik 2,5 kV/cm

Suhu	Penurunan (Log)					Kontrol (x10 <sup>6</sup> CFU/ml)
	Waktu (menit)					
	5	10	15	20	25	
30 °C	0,413	0,939	1,137	1,602	1,814	29,673
40 °C	0,465	0,990	1,163	1,632	1,871	
50 °C	0,449	1,002	1,176	1,700	1,955	

Suhu lingkungan menyebabkan penurunan jumlah koloni bakteri *Listeria monocytogenes* seperti pada tabel 4.4. Suhu lingkungan 30 °C selama 25 menit jumlah koloni bakteri mengalami penurunan sebesar 1,814 log CFU/ml. Penurunan jumlah koloni tersebut menjadi 1,955 log CFU/ml, ketika suhu lingkungan dinaikkan menjadi 50 °C.

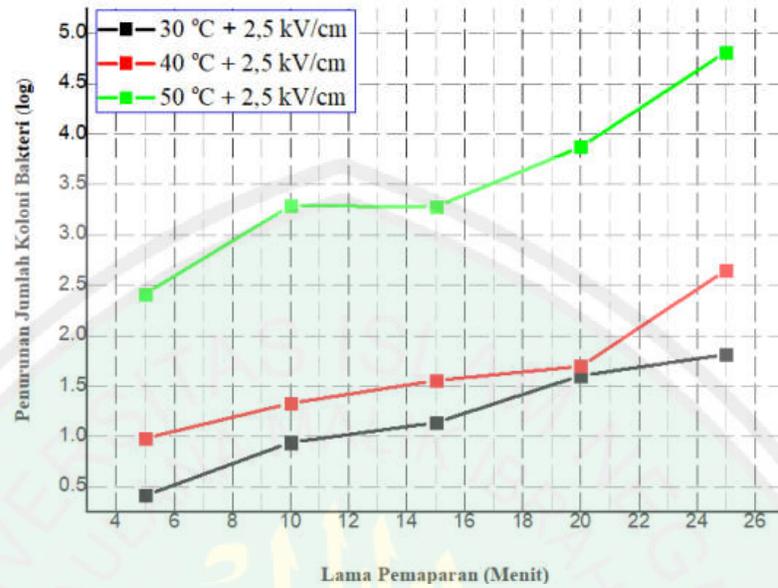
Tabel 4.4 Penurunan Jumlah Koloni Bakteri setelah dipapari Suhu dan Medan Listrik 3 kV/cm

Suhu	Penurunan (Log)					Kontrol (x10 <sup>6</sup> CFU/ml)
	Waktu (menit)					
	5	10	15	20	25	
30 °C	0,981	1,002	1,554	1,695	2,649	29,673
40 °C	0,996	1,353	1,618	1,752	3,804	
50 °C	1,012	1,373	1,688	1,840	3,909	

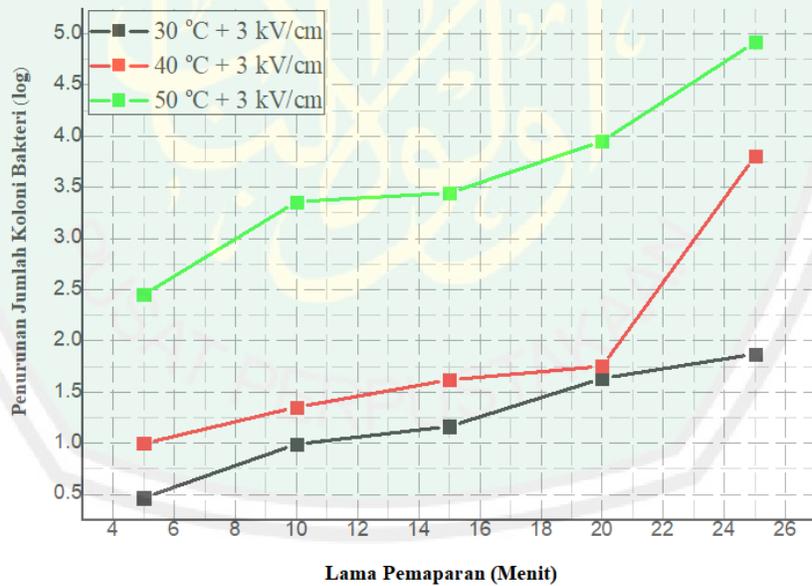
Tabel 4.5 menunjukkan pengaruh suhu lingkungan dan medan listrik sebesar 3 kV/cm terhadap penurunan jumlah bakteri *Listeria monocytogenes*. Bakteri diberikan suhu lingkungan 50 °C dengan medan listrik berpulsa 2,5 kV/cm selama 25 menit, penurunan jumlah koloni sebesar 2,649 log CFU/ml. Jumlah koloni bakteri semakin menurun saat suhu dinaikkan menjadi 50 °C. Penurunan jumlah koloni bakteri menurun sebesar 3,909 log CFU/ml.

#### B. Analisis Hasil

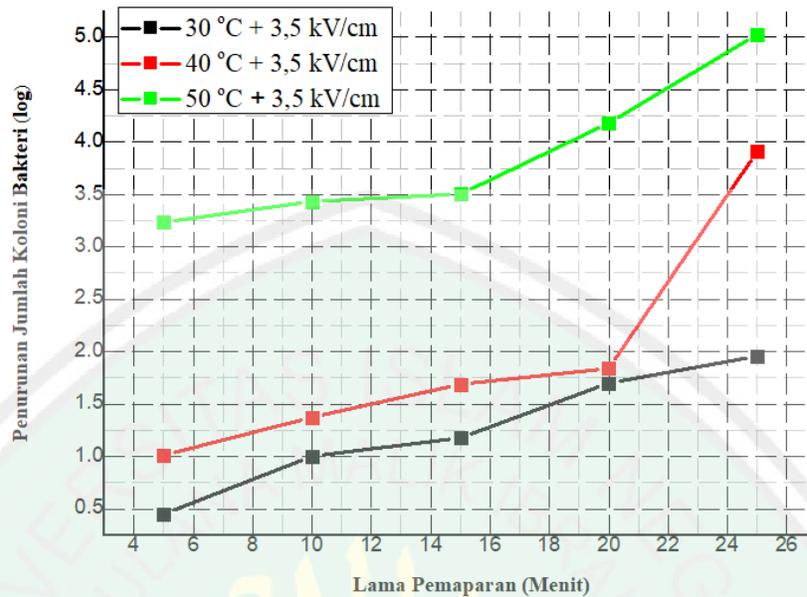
Suhu lingkungan mempengaruhi jumlah penurunan bakteri (Yusro; 2015). Kerusakan pada membrane sel tersebut menyebabkan kematian bakteri *Listeria monocytogenes*. Penurunan jumlah koloni bakteri ditunjukkan pada grafik 4.4, 4.5, dan 4.6.



Gambar 4.5 Penurunan Jumlah Koloni Bakteri setelah Dipapari Suhu 30 °C, 40 °C, 50 °C dan Medan Listrik Berpulsa 2,5 kV/cm.



Gambar 4.6 Penurunan Jumlah Koloni Bakteri setelah Dipapari Suhu 30 °C, 40 °C, 50 °C dan Medan Listrik Berpulsa 3 kV/cm.



Gambar 4.7 Penurunan Jumlah Koloni Bakteri setelah Dipapari Suhu 30 °C, 40 °C, 50 °C dan Medan Listrik Berpulsa 3,5 kV/cm.

Suhu dapat meningkatkan penurunan jumlah koloni bakteri, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.5. Pemberian suhu dapat menghambat pertumbuhan bakteri. Terlihat penurunan yang signifikan pada suhu 40 °C dengan lama pemaparan 25 menit, bakteri mengalami denaturasi dan menyebabkan isi dalam sel rusak. Denaturasi yaitu suatu perubahan atau modifikasi terhadap susunan ruang atau rantai polipeptida. Hal ini terjadi karena pecahnya ikatan hidrogen, interaksi hidrofobik, ikatan garam dan terbukanya lipatan molekul (Lasmawati, 2014). Suhu lingkungan yang panas menyebabkan semua bagian sel rusak sehingga protein juga akan ikut rusak.

Jumlah koloni bakteri *Listeria monocytogenes* yang diberikan suhu lingkungan 50 °C mengalami penurunan yang signifikan. Gambar 4.4 dan gambar 4.5 menunjukkan bahwa semakin besar suhu lingkungan yang diberikan menyebabkan semakin besar heat shock yang terjadi pada bakteri.

Ketika suhu lingkungan dinaikkan menjadi 40 °C dan medan 3,5 kV/cm terjadi penurunan yang signifikan, tegangan pada transmembran sel bakteri melebihi batas ambang, dan akhirnya terjadi elektroporasi sel, sehingga bakteri banyak yang mengalami kematian.

#### 4.1.3 Pengaruh Medan Listrik dan Suhu terhadap Penurunan Jumlah Koloni Bakteri

##### A. Data Hasil

Kombinasi medan listrik berpulsa dan suhu lingkungan dapat mempercepat penurunan jumlah koloni bakteri *Listeria monocytogenes*. Hasil penelitian ini ditunjukkan pada tabel 4.7 dan 4.8.

Tabel 4.6 Penurunan Jumlah Koloni Bakteri setelah dipapari Medan Listrik dan Suhu 30 °C dengan waktu 5 menit.

Medan Listrik	Penurunan Log			Kontrol (x106 CFU/ml)
	Suhu			
	30 °C	40 °C	50 °C	
2,5 kV/cm	0,413	0,465	0,449	29,673
3 kV/cm	0,981	0,996	1,012	
3,5 kV/cm	2,415	2,448	3,234	

Bakteri diberikan paparan medan listrik berpulsa 2,5 kV/cm pada suhu lingkungan 30 °C selama 5 menit penurunan jumlah koloni sebanyak 0,413 log CFU/ml. Rata-rata jumlah koloni bakteri semakin menurun ketika medan listrik dinaikkan 3,5 kV/cm dan suhu lingkungan 50 °C penurunan jumlah koloni bakteri menurun sebesar 3,234 log CFU/ml.

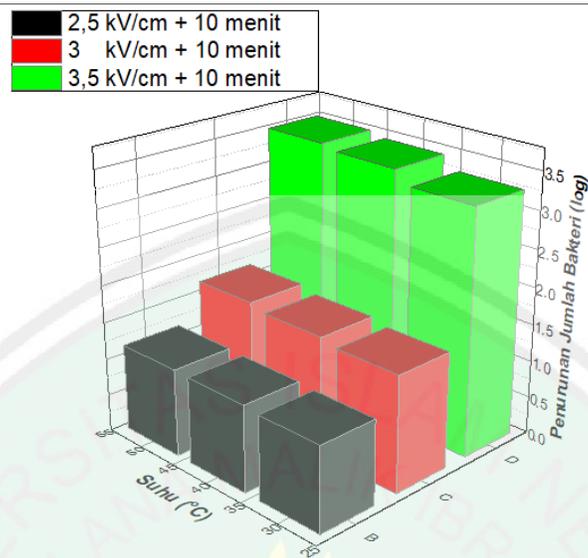
Tabel 4.7 Penurunan Jumlah Koloni Bakteri setelah dipapari Medan Listrik dan Suhu 40 °C dengan 15 menit.

Medan Listrik	Penurunan Log			Kontrol (x10 <sup>6</sup> CFU/ml)
	Suhu			
	30 °C	40 °C	50 °C	
2,5 kV/cm	1,137	1,163	1,176	29,673
3 kV/cm	1,554	1,618	1,688	
3,5 kV/cm	3,278	3,445	3,503	

Tabel 4.8 menunjukkan pengaruh medan listrik dan suhu lingkungan 30 °C terhadap penurunan jumlah koloni bakteri *Listeria monocytogenes*. Penurunan jumlah koloni bakteri sebesar 1,137 log CFU/ml setelah diberikan paparan medan listrik 2,5 kV/cm selama 25 menit dan ketika medan listrik dinaikkan menjadi 3,5 kV/cm jumlah koloni menurun sebesar 4,917 log CFU/ml.

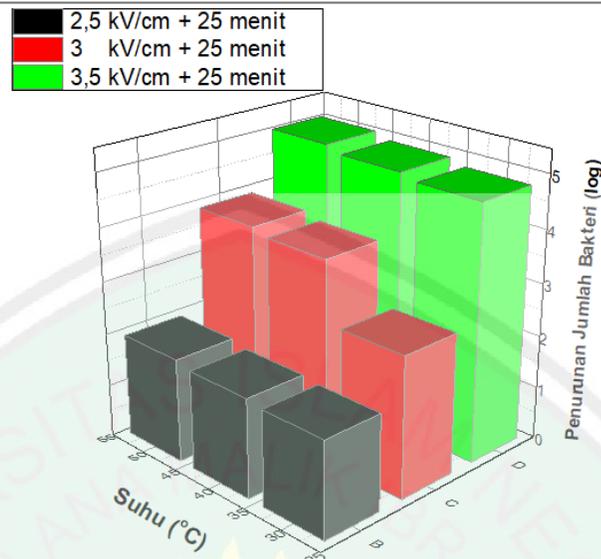
### B. Analisis Hasil

Medan listrik dan suhu lingkungan mempengaruhi jumlah penurunan bakteri, Penurunan itu diakibatkan oleh efek elektroporasi (Apriliawan; 2012). Bakteri mengalami kerusakan pada membran sel (Fang, 2006; Apriliawan, 2012). Kerusakan pada membran sel tersebut menyebabkan kematian bakteri *Listeria monocytogenes*. Pernyataan diatas ditunjukkan pada gambar 4.7 dan 4.8.



Gambar 4.8 Penurunan Jumlah Koloni Bakteri setelah Dipapari Medan Listrik Berpulsa 2,5 kV/cm, 3 kV/cm, 3,5 kV/cm dengan Suhu Lingkungan

Jumlah koloni bakteri *Listeria monocytogenes* yang diberikan paparan medan listrik berpulsa dan suhu lingkungan 30 °C, mengalami penurunan yang signifikan, ditunjukkan pada Gambar 4.8 semakin besar kuat medan listrik menyebabkan semakin besar kerusakan yang terjadi pada sel bakteri. Di tambah dengan lama paparan, menyebabkan penurunan jumlah koloni yang lebih besar.



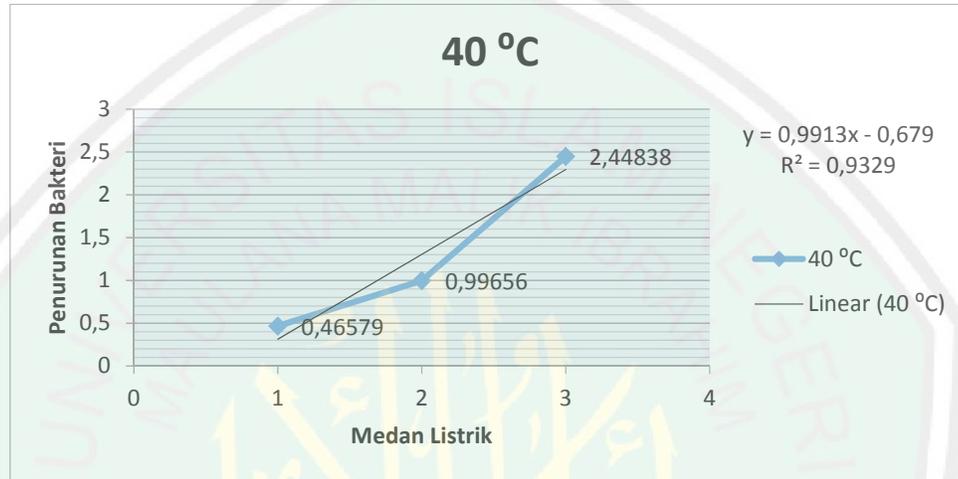
Gambar 4.9 Penurunan Jumlah Koloni Bakteri setelah Dipapari Medan Listrik Berpulsa 2,5 kV/cm, 3 kV/cm, 3,5 kV/cm dengan Suhu Lingkungan

Kombinasi Medan listrik berpulsa dan suhu dapat meningkatkan penurunan jumlah koloni bakteri, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.9. Bakteri mengalami elektroporasi yang menyebabkan tegangan transmembran meningkat, sehingga membran sel mengalami kerusakan (Apriliawan, 2012).

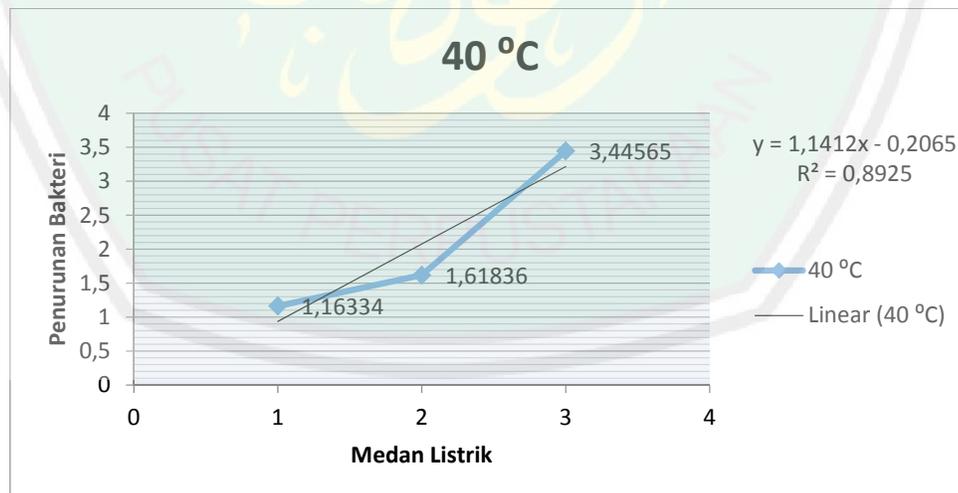
### C. Analisis Gradien Medan Listrik dan Suhu

#### C.1 Suhu 40 °C

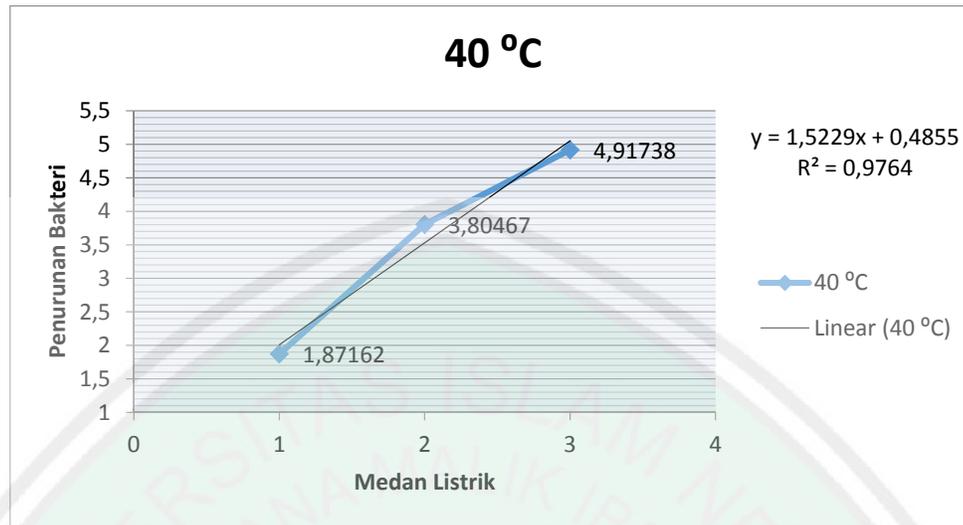
Penurunan jumlah koloni bakteri yang paling signifikan bisa dilihat pada gambar di bawah ini :



Gambar 5.0 Lama Pemaparan 5 Menit dengan Suhu Lingkungan 40 °C



Gambar 5.1 Lama Pemaparan 15 Menit dengan Suhu Lingkungan 40 °C

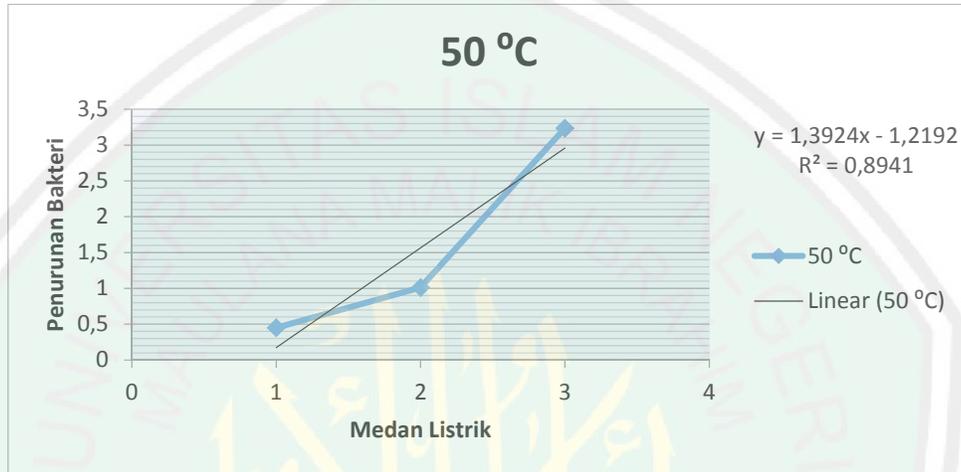


Gambar 5.2 Lama Pemaparan 25 Menit dengan Suhu Lingkungan 40 °C

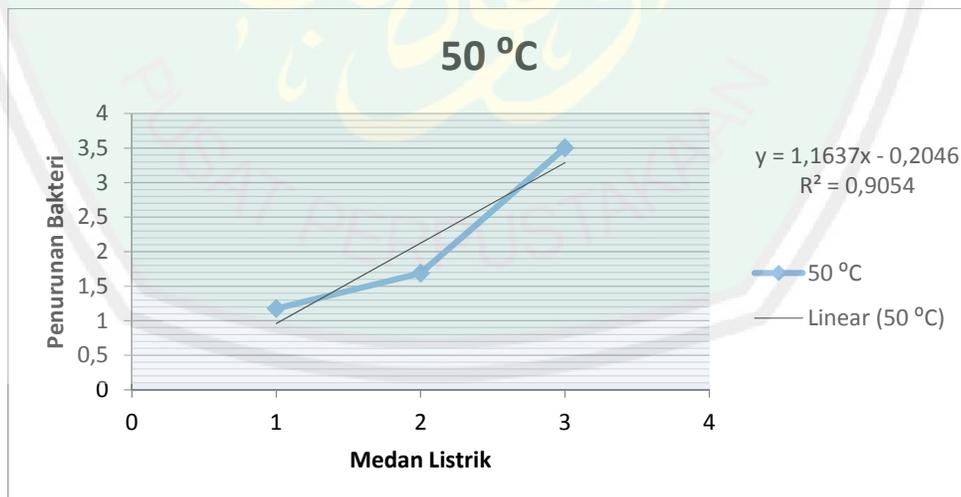
Penurunan jumlah koloni bakteri paling signifikan ditunjukkan pada gambar 5.2, Lama pemaparan 25 menit dengan Suhu Lingkungan 40 °C. Medan listrik dan suhu lingkungan yang tinggi mempengaruhi jumlah penurunan bakteri, Penurunan itu diakibatkan oleh efek elektroporasi (Apriliawan; 2012).

## C.2 Suhu 50 °C

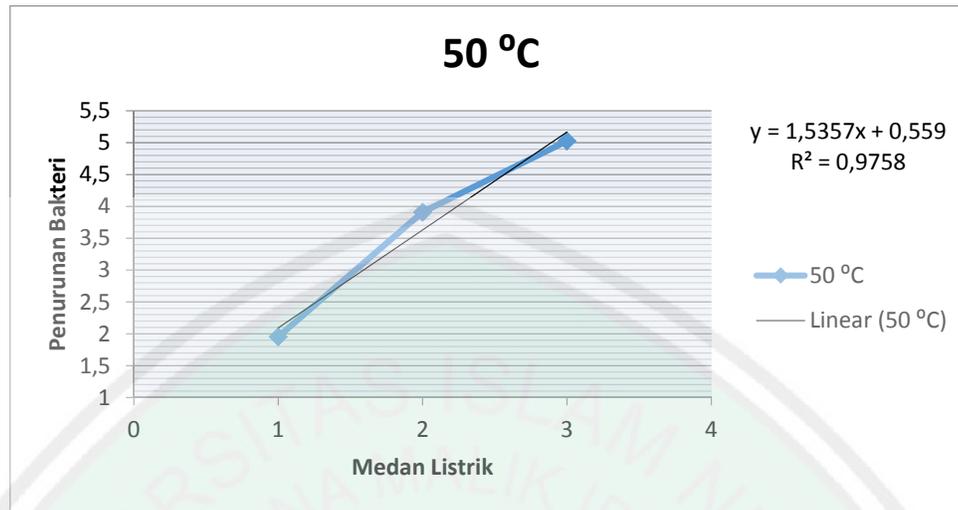
Penurunan jumlah koloni bakteri yang paling signifikan bisa dilihat pada gambar di bawah ini :



Gambar 5.3 Lama Pemaparan 5 Menit dengan Suhu Lingkungan 50 °C



Gambar 5.4 Lama Pemaparan 15 Menit dengan Suhu Lingkungan 50 °C

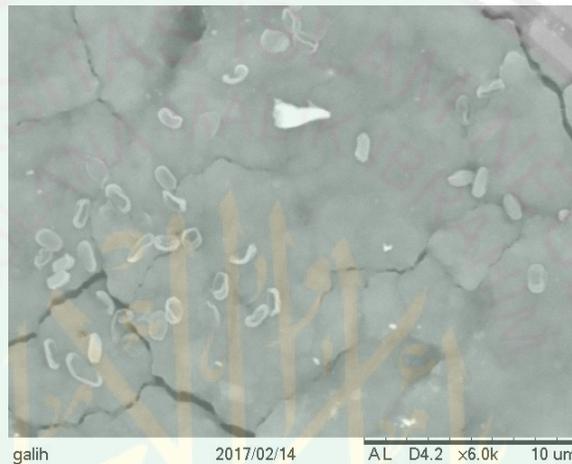


Gambar 5.5 Lama Pemaparan 15 Menit dengan Suhu Lingkungan 50 °C

Suhu lingkungan dan Medan listrik mempengaruhi penurunan jumlah bakteri. Terlihat bakteri mengalami penurunan yang signifikan pada Gambar 5.5, dengan Lama Pemaparan 25 Menit dengan Suhu Lingkungan 50 °C.

#### 4.2 Analisis *Scanning Elektron Microscope* (SEM)

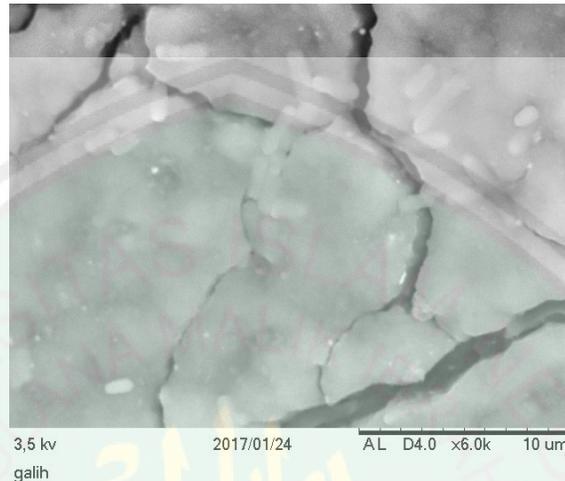
Pengujian biofilm dengan menggunakan SEM dilakukan di Laboratorium Biosains Universitas Brawijaya Malang. Hal ini dilakukan untuk menganalisis pertumbuhan bakteri *Listeria monocytogenes* sebelum dan sesudah dilakukan pemaparan.



Gambar 5.6 Citra SEM biofilm *Listeria monocytogenes* yang terbentuk selama 6 hari dengan skala perbesaran 6000 kali

Gambar 5.6 menunjukkan bahwa pada bakteri *Listeria monocytogenes* yang diinkubasi selama 6 hari sudah membentuk lapisan sel biofilm (multilayers) pada substrat. Pembentukan multilayer terjadi karena peningkatan jumlah sel biofilm bakteri *Listeria monocytogenes* yang dipengaruhi oleh zat polimer. Polimer ini biasanya terdiri dari senyawa polisakarida. Setelah terbentuk senyawa polisakarida, sel bakteri akan menempel pada substrat dan saling merekatkan satu sama lain. Beberapa bakteri akan melakukan perpindahan untuk membentuk biofilm yang baru, sehingga semakin lama jumlah biofilm akan semakin banyak dan membesar.

Gambar hasil SEM setelah pemaparan medan listrik 3,5 kV pada suhu 30 °C selama 25 menit ditunjukkan pada gambar 5.7.



Gambar 5.7 Citra SEM Biofilm setelah pemaparan dengan medan listrik 3,5 kV pada suhu 30 °C dalam jangka waktu 25 menit perbesaran 6000 kali

Pada gambar 5.7 menunjukkan bahwa pada bakteri *Listeria monocytogenes* yang membentuk biofilm setelah diberi paparan dengan medan listrik 3,5 kV pada suhu 30 °C dalam jangka waktu 25 menit mengalami penurunan jumlah koloni bakteri. Medan listrik lebih dari 2000 V/cm dengan lebar pulsa  $10^{-6}$  akan mengalami elektroporasi pada bakteri (Wang, 2009). Elektroporasi menyebabkan tegangan transmembran meningkat, sehingga membrane sel mengalami kebocoran (Apriliawan, 2012). Kebocoran tersebut dapat diamati dengan mikroskop electron yang ditandai dengan terbentuknya lubang (Gould, 1995). Semakin tinggi kuat medan listrik maka semakin besar pula kerusakan yang terjadi. Lama pemaparan adalah perkalian jumlah pulsa dengan durasi pulsa (Juwita, 2015), sehingga meningkatnya lama pemaparan akan menyebabkan penurunan jumlah koloni bakteri yang lebih besar.

### 4.3 Pembahasan

Biofilm merupakan suatu lapisan tipis bakteri yang menempel ada permukaan matriks yang lembab dan lengket seperti mukosa dan alat-alat yang dipasang di dalam tubuh (implant) yang menyebabkan bakteri resisten terhadap proses fagositosis sel darah putih dan fek antibiotika (Donlan, 2002).

Medan listrik terletak di antara kedua plat sejajar. Perpindahan muatan positif dan negatif pada masing-masing plat kapasitor dipengaruhi oleh input tegangan. sehingga plat yang dihubungkan pada kutub positif dari sumber tegangan cenderung lebih bermuatan positif begitupun sebaliknya.

Bakteri *Listeria monocytogenes* yang berada di area medan listrik akan mengalami pergeseran muatan. Pergeseran muatan mengakibatkan potensial transmembran meningkat dan menghasilkan pori *hydrophilic*, sehingga mengakibatkan molekul di luar membran sel masuk ke dalam sel proses inilah yang mengakibatkan membran sel membengkak setelah itu lisis.

Medan listrik berpulsa berbanding lurus dengan tegangan listrik. Jika medan listrik meningkat maka penurunan jumlah bakteri juga meningkat. Apabila intensitas medan listrik semakin besar maka potensial transmembran mendekati kritis. Faktor lain yang mempengaruhi penurunan jumlah koloni bakteri adalah lama pemaparan. Karena semakin lama pemaparan yang diberikan, akan menyebabkan penurunan jumlah koloni bakteri yang lebih besar.

Faktor lain yang mempengaruhi dalam menghambat biofilm bakteri *Listeria monocytogenes* adalah suhu. Penghambatan pertumbuhan biofilm bakteri

dapat meningkat dengan peningkatan suhu lingkungan. Pada suhu lingkungan 60 °C dengan intensitas cahaya 60 mW/cm<sup>2</sup>, jumlah koloni yang masih aktif sebesar 2.7 x 10<sup>8</sup> CFU/ml dengan persentase penurunan jumlah bakteri sebesar 88,3%. Penelitian (Yusnita,dkk. 2014).

Setiap mikroba termasuk bakteri mempunyai suhu optimum, maksimum dan minimum untuk pertumbuhannya. Bakteri *Listeria monocytogenes* merupakan mikroorganisme yang tumbuh cepat pada kisaran suhu 20 °C - 50 °C. Apabila suhu lingkungan lebih kecil dari suhu minimum atau lebih besar dari suhu maksimum pertumbuhannya maka aktivitas enzim di dalam sel bakteri *Listeria monocytogenes* akan terhenti bahkan akan terjadi denaturasi enzim (Sari, 2012). Denaturasi termasuk perubahan struktural akibat rusaknya ikatan kimia. Kerusakan ikatan kimia akan mengakibatkan kerusakan sel. Mekanisme kerusakan sel terlebih dahulu mengalami proses nekrosis diawali dengan kerusakan membran yakni proses pelepasan membran sel. Tingkat keparahan kerusakan membran ini juga merusak lisosom sehingga membuat organel pencernaan tersebut mengeluarkan enzimnya ke dalam cairan sel (sitoplasma), sehingga seluruh organel dan komponen sel akan pecah menjadi pigmen-pigmen kecil dan selanjutnya akan mengalami fagositosis (Clark, 2009).

Kombinasi medan listrik berpulsa dengan suhu akan mempercepat kematian pada sel bakteri. Interaksi dari medan listrik akan menggeser posisi electron dari keadaan stasionernya, penggeseran tersebut menyebabkan membran sel rusak, serta pengaruh suhu yang mengakibatkan denaturasi enzim. Denaturasi enzim termasuk perubahan struktural akibat rusaknya ikatan kimia yang

mengakibatkan kerusakan pada sel. Efek dari medan listrik berpulsa dan suhu secara mikrobiologi menghasilkan efek yang berbeda. medan listrik berpulsa dapat meningkatkan permeabilitas membran, sehingga terjadi pembentukan pori dan sel mengalami kematian. Sedangkan suhu mengakibatkan kerusakan pada sel, sehingga seluruh organel pecah menjadi pigmen-pigmen kecil. Kedua efek tersebut dapat mempercepat kerusakan membran sel pada bakteri *Listeria monocytogenes* yang ditunjukkan dengan permukaan bakteri semakin tidak rata dan kemudian pecah.

Medan listrik berpulsa dan suhu lingkungan menyebabkan penurunan jumlah koloni bakteri *Listeria monocytogenes*. Kombinasi keduanya mencapai waktu minimum ketika medan listrik 3,5 kV dan suhu lingkungan 40 °C selama 25 menit, serta pada kuat medan listrik 3,5 kV dan suhu lingkungan 50 °C selama waktu 25 menit.

Gradien medan listrik berpulsa dan suhu lingkungan yang paling signifikan pada lama Pemaparan 25 menit dengan suhu lingkungan 40 °C dan lama pemaparan 25 menit dengan suhu lingkungan 50 °C.

#### 4.4 Makanan yang Higienis dalam Perspektif Islam

Segala sesuatu yang diciptakan oleh Allah SWT sebenarnya mengandung makna tersendiri dan tentunya sudah memiliki ukuran dan semuanya tidak akan sia-sia. Seperti dalam firman Allah SWT dalam Q.S. Ali-Imran (2) 191 :

الَّذِينَ يَذْكُرُونَ اللَّهَ قِيَمًا وَقُعُودًا وَعَلَىٰ جُنُوبِهِمْ وَيَتَفَكَّرُونَ فِي خَلْقِ السَّمَوَاتِ وَالْأَرْضِ رَبَّنَا  
مَا خَلَقْتَهُ هَذَا بَطَلًا سُبْحَانَكَ فَقِنَا عَذَابَ النَّارِ ﴿١٩١﴾

“(yaitu) orang-orang yang mengingat Allah SWT sambil berdiri atau duduk atau dalam keadan berbaring dan mereka memikirkan tentang penciptaan langit dan bumi (seraya berkata): “Ya Tuhan kami, tiadalah Engkau menciptakan Ini dengan sia-sia, Maha Suci Engkau, Maka peliharalah kami dari siksa neraka” (Q.S Ali-Imran: 191).

Ayat di atas menjelaskan bahwa semua yang diciptakan Allah SWT tidak akan sia-sia. Indikasi ini berdasarkan dari kata *ما خلقت هذا بطلا* (tiadalah Engkau menciptakan ini dengan sia-sia). Makna kata tersebut adalah bahwa Allah SWT tidak menciptakan penciptaan ini dengan sia-sia dan senda-gurau, dan Allah SWT tidak menciptakannya kecuali karena perkara besar seperti Allah SWT telah menciptakan makhluk hidup dengan berbagai macam jenisnya, mulai dari makhluk hidup makroskopis hingga makhluk hidup yang mikroskopis, seperti bakteri (ath-Thabari, 2008).

Bakteri adalah mikroorganisme bersel tunggal tidak terlihat oleh mata, ada yang bersifat menguntungkan dan merugikan. Dampak positif bakteri diantara dapat menyuburkan tanah dengan menghasilkan nitrat, pengurai sisa makhluk hidup dengan pembusukan, fermentasi dalam pembuatan makanan dan minuman, dan di sisi lain dampak negatif dari bakteri ini adalah merusak tanaman dengan serangan yang merugikan, menyebabkan penyakit bagi mahluk hidup termasuk manusia. Salah satu penyakit yang disebabkan oleh bakteri *Listeria monocytogenes* adalah timbulnya infeksi pada luka. Salah satu penyebab dari infeksi adalah makanan, minuman dan bahan-bahan yang tidak steril.

Anjuran untuk memperhatikan makanan yang halal dan steril untuk dikonsumsi sudah dijelaskan dalam al-Quran. Sebagaimana firman Allah SWT dalam Q.S. Al-Maaidah (5) ayat 88 :

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

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

Selain itu juga di jelaskan pada Q.S. Al-Baqarah (2) ayat 168 :

يَأْتِيهَا النَّاسُ كُلُّوا مِمَّا فِي الْأَرْضِ حَلالًا طَيِّبًا وَلَا تَتَّبِعُوا خُطُوتِ الشَّيْطَانِ إِنَّهُ لَكُمْ عَدُوٌّ مُبِينٌ ﴿١٦٨﴾

“Hai sekalian manusia, makanlah yang halal lagi baik dari apa yang terdapat di bumi, dan janganlah kamu mengikuti langkah-langkah syaitan; karena Sesungguhnya syaitan itu adalah musuh yang nyata bagimu (Q.S. al-Baqarah: 168).”

Ayat di atas memerintahkan manusia untuk mengkonsumsi makanan yang *halalan thayyiban* dan berhati-hati dalam memilih makanan yang akan dikonsumsi. *Halalan* berasal dari bahasa arab yang berarti lepas atau tidak terikat. Jadi makanan halal atau halalan adalah makanan yang lepas dan tidak terikat oleh hal-hal yang menjadikannya terlarang untuk dikonsumsi, seperti bahaya jika dikonsumsi atau menjijikkan. Sementara itu kata *thayyiban* berasal dari bahasa arab juga, yang berarti baik, lezat, sehat, paling utama. Kata *thayyiban* jika disandingkan dalam makanan berarti makanan yg baik, lezat, dan menyehatkan. Jadi pengertian *halalan* dan *thayyiban* dapat kita simpulkan bahwa makanan yang *halalan thayyiban* adalah makanan yang bebas tidak terikat oleh hal-hal yg

menyebabkannya dilarang untuk dikonsumsi dan makanan tersebut dapat menyehatkan badan. Agar makanan tetap halal dan thayyiban dan tetap steril untuk dikonsumsi, maka diperlukan metode dengan paparan medan listrik dan suhu lingkungan, seperti pada penelitian ini.

Penelitian ini menggunakan paparan medan listrik dan suhu lingkungan yang bervariasi. Seperti yang dijelaskan di atas bahwa medan listrik dapat meningkatkan permeabilitas membran, sehingga terjadi pembentukan pori dan sel mengalami kematian. Selain pemaparan medan listrik, penambahan suhu (panas) lingkungan pada bakteri mampu mengurangi jumlah koloni bakteri, karena pada suhu lingkungan yang optimum mampu menurunkan aktivitas enzim bakteri sehingga bakteri akan mengalami proses denaturasi protein yang akan mematikan sel bakteri. Dari hasil penelitian menunjukkan bahwa paparan medan listrik dan suhu mampu menyebabkan penurunan jumlah koloni bakteri *Listeria monocytogenes*. Kombinasi keduanya mencapai waktu optimum ketika medan listrik 3,5 kV dan suhu 40 °C selama 25 menit mengalami jumlah penurunan 100%, serta pada kuat medan listrik 3,5 kV dan suhu 50 °C selama waktu 25 menit. Sehingga dapat disimpulkan bahwa pemaparan medan listrik dan pada suhu lingkungan yang tinggi berpengaruh terhadap penonaktifan biofilm bakteri *Listeria monocytogenes*.

## BAB V PENUTUP

### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan mengenai variasi medan listrik dan suhu untuk inaktivasi bakteri *Listeria monocytogenes* pada media kateter dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Medan listrik berpulsa mempengaruhi penurunan jumlah koloni bakteri *Listeria monocytogenes* pada biofilm. Semakin besar medan listrik berpulsa maka akan semakin besar penurunan jumlah koloni bakteri. Persentase penurunan maksimum jumlah koloni bakteri terjadi pada medan listrik 3,5 kV suhu 50 °C selama 25 menit sebesar 100%.
2. Pengaruh medan listrik berpulsa dan suhu terhadap jumlah koloni bakteri *Listeria monocytogenes* minimum digunakan pada kuat medan listrik 3,5 kV suhu 40 °C selama 25 menit dan pada kuat medan 3,5 kV suhu 50 °C selama 25 menit dengan penuruna jumlah koloni bakteri mencapai 100%.

### 5.2 Saran

Berdasarkan kesimpulan yang sudah dikemukakan maka diberikan saran-saran untuk mengadakan perbaikan di masa mendatang :

1. Diperlukan penelitian lebih lanjut terhadap bakteri panthogen yang lain.
2. Diperlukan adanya pembuatan rancang bangun alat sterilisasi dengan menggunakan medan listrik dan suhu.

## DAFTAR PUSTAKA

- Abdusshomaad, Muhyidin. 2003. *Sains Dalam Al-Quran dan Sunnah*. Surabaya: Khalista.
- Aguila, Rossa.Dkk. *Thermal And Pulsed Elektrik Field Pasteurization Of Apple Juice: Effect On Physycochemical Properties And Flavour Compound. Food And Chemical Programe*. Spain: Autonomous University Of Chihuahua Lleid.
- Al-Jazairi, S. 2007. *Tafsir Al Qur'an Al Qurtubi (jilid 2)*. Jakarta: Darus Sunnah.
- Andini, dkk. 2002. *Kemampuan Hidup Bakteri Listeria Monocytogenes Yang Diisolasi Dari Bahan Pangan Asal Ternak Terhadap Iradiasi Gamma. Pros. Seminar Hasil-Hasil Penelitian Veteriner*. Bogor. hlm. 95-102.
- Anwer, Ayad G., Anssam, S. Husien. 2007. *Combination Effect of Laser, Antibiotics and Different Temperature on Locally Isolated Pseudomonas aeruginosa*. Vol. 6, pp. 21-30. Baghdad: University of Baghdad.
- Ath-Thabari, Abu Ja'far Muhammad bin Jarir, *Jami' Al- Bayan an Ta'wil Ayi Al- Quran*, penerjemah: Abdul Somad, Yusuf Hamdani, dkk, jilid 3, 12, 13, 21, Jakarta: Pustaka Azzam, 2008.
- Apriliawan, Hadi. 2012. *Laban Electric alat pasteurasi susu kejut listrik tegangan tinggi (Pulsed Electric Field) menggunakan flyback transformer*. Malang: Universitas Brawijaya.
- Ariyanti, T. 2010. *Bakteri Listeria Monocytogenes sebagai Kontaminan Makanan Asal Hewan*. WARTAZOA vol.20 No.02.2010.
- Astuti, Suryani D. dkk. 2011. *Potensi Blue Light Emitting Diode (LED) untuk Foto Inaktivasi Bakteri Staphylococcus aureus dengan Forfirin Endogen*. JBP Vol. 13, No. 3 September 2011. Surabaya: Universitas Airlangga.
- Ayu, Bestari.J. 2015. *Optimasi Medan Listrik Berpulsa untuk Menghambat Pertumbuhan Biofilm Listeria Monocytogeneses*. Skripsi. Jurusan Fisika: Fakultas Sains dan Teknologi. Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang
- Buche, Frederick J. 1989. *Theory and Problem of College Physics, 8<sup>th</sup> Edition/Frederick Bueche Schaum Series*. Jakarta: Erlangga.
- Campbell, dkk. 2002. *Biologi Edisi Kelima Jilid 1*. Jakarta: Erlangga.
- Candra, B. 2006. *Pengantar Kesehatan Lingkungan*. Jakarta: Penerbit Buku Kedokteran EGC.

- Clark, D. dan Adam, S. *Landfill Biodegradation An In-Dept Look At Biodegradation In Landvill Environments*. Bio-Tec Environmental, Albuquerque & ENSO Bottles, LLC, PHONIX. PG.9-11
- Costerton J.W dan Stewart, P.S. 2001. *Battling Biofilm*. Scientific America: 61- 67.
- Cowan, M.M., Warren, T.M., dan Fletcher. 2006. *Mixed Species Colonization of Solid*.
- Darmadi. 2008. *Infeksi Nosokomial: Problematika dan Pengendaliannya*. Jakarta: Salemba Medika.
- Donlan, R.M. 2002. *Biofilms: Microbial Life in Surfaces*. (Online). (<http://www.medscape.com/viewarticle/441355>). Diakses pada 25 Juli 2015.
- Donlan, RM. 2002. *Biofilms: Survival Mechanisms of Clinically Relevant Microorganism*. (Online). (<http://www.cdc.gov/ncidod/eid/voll5no2/donlan.htm>). Diakses pada 25 Juli 2015.
- Giancoli. 1998. *Fisika Jilid I*. Jakarta: Erlangga.
- Gould, GW. 1995. *New Methoes Food Preservatief*. New York: Chapman Hall.
- Habash, M.dan Reid, G. 2006. *Microbial Biofilms: Their Development and Significance for Medical Device-Related Infections*. (Online). (<http://jb.asm.org/cgi/content/full/39/5/887>). Diakses pada 25 Juli 2015.
- Halliday, M.A.K. (1990). *Learning How to Mean: Exploration in the Development of Language*. London: Edward Arnold.
- Harefa, Sofyan P.A. 2011. *Analisis Perbandingan Model Propagarsi untuk Komonikasi Bergerak pada Sistem GSM 900*. (Online). (<http://repository.usu.ac.id/handle/123456789/30784>). Diakses pada 25 Juli 2014.
- Heggie, J.C.P., Liddell, N.A., Maher, K.P. 1997. *Applied Imaging Technology, 3<sup>rd</sup> Edition*, Melbourne: St. Vincent`s Hospital.
- Isaacs, Alan. 1997. *Kamus Lengkap Fisika*. Jakarta: Erlangga.
- Jawetz, E., Melnick, J.L., Adelberg, E.A., Brooks, G.F., Butel, J.S., dan Ornston, L.N. 2006. *Mikrobiologi Kedokteran. Edisi ke 20 (Alih bahasa: Nugroho dan R.F. Maulany)*. Jakarta: Penerbit Buku Kedokteran EGC.
- Jay, J. M. 2000. *Modern Food Microbiology*. New York: Chapman and Hall.
- Juwita, 2015. *Optimasi Medan Listrik Berpuls untuk Menghambat Biofilm Listeria Monocytogenes*. Malang: Uin Malang.
- Irianto, Koes. 2007. *Menguak Dunia Mikroorganisme Jilid I*. Bandung: Yrama widya.
- Khopkar, S.M. 2003. *Konsep Dasar Kimia Analitik*. Jakarta: Universitas Indonesia.

- Lasmawati M.M., Lilil. 2014. *Potensi Medan Listrik Untk Penonaktifan Biofilm Dari Bakteri Pseudomonas aeruginosa*. Uin Malang
- Litaay, Gabriela Welma. 2013. *Kemampuan Pseudomonas aurogenosa dalam Menurunkan Kandungan Fosfat Limbah Cair Rumah Sakit*. Yogyakarta: Universitas Atma Jaya.
- Nadal, A., A. Coll, N. Cook and M. PLA. 2007. A molecular beacon-based realtime NASBA assay for detection of *Listeria monocytogenes* in food products: Role of target mRNA secondary structure on NASBA design. *J. Microbiol. Methods* 68: 623 – 632.
- Nurwani. 2010. (Online). (<http://www.slideshare.net/nurwani/gelombang-elektromagnetik>). Diakses pada 25 Juli 2015.
- Prakash, B., Veerogowda, B.M. dab Krishnappa, G. 2003. Biofilms :A Survival Strategy of bacteria. *Current Sci.* 85 (9) : 1299-1307.
- Rashid T. dan Ebringer, A. 2006. *Ankylosing spondylitis is Linked to Klebsiella-The Evidence (Epub Ahead of Print)*. *Clin Rheumatol.* PMID 17196116.
- Scaechter, M., Medoff, G., Einsten, B.I. 2006. *Mechanisms of Microbial Disease 2<sup>nd</sup> Edition*. London: Williams and Wilkins.
- Saleh, Eriza. 2004. *Teknologi Pangan Susu dan Hasil Ikutan Ternak*. Fakultas Pertanian. Universitas Sumatera Utara Medan.
- Serway, Remond A dan John W. Jewett, Jr. 2010. *Fisika untuk Sains dan Teknik Buku 2 Edisi 6*. Jakarta: Salemba Teknika.
- Shihab, M. Quraish. 1996. *Wawasan al-Quran Tafsir Maudhui atas Berbagai Persoalan Umat*. Bandung: Mizan.
- Shihab, M. Quraish. 2001. *Tafsir Al-Misbah "Pesan, Kesan Keserasian al-Quran Vol.3*. Ciputat: Lentera Hati.
- Soedjojo, Peter. 2004. *Fisika Dasar*. Yogyakarta: Andi
- Steck, Daniel A. 2008. *Classical and Modern Optics*. Department of Physic: University of Oregon.
- Supriyanto. 2007. *Perambatan Gelombang Elektromagnetik*. Jakarta: Universitas Indonesia.
- Suryadjaja. 2015. *Listeria monocytogenes: Dosis infeksi Listeria* ([http://www.CNN.ind/bakteri/infeksi\\_susu.html](http://www.CNN.ind/bakteri/infeksi_susu.html)) diakses 18 Mei 2016.
- Sutherland, P.S. 1989. *Listeria monocytogenes*. In: *Foodborne Microorganisme of public Health Significance*, Fourth Edition *Food Microbiol. Group* pp. 289-311
- Tirono, M. 2013. *Efek Medan Listrik AC terhadap Pertumbuhan Bakteri Klabsiella Pneumonia*. *Jurnal Neutrino*. Vol.5 No.2.
- Tortora, G.J. 2010. *Microbiology: an Introduction: 10<sup>th</sup> Edition Cell Structure*. USA: Benjamin Cummings.

- Trikusumagani. 2009. *Pasien ICU Banyak Terkena Infeksi, (Monograph on The Internet)*. (Online). (<http://D:Nosokomial/pasienICUbanyakterkenainfeksi-htm>). Diakses 8 Juli 2015.
- Wang, Zhao. 2009. *Electromagnetic Field Interaction with Biological Tissues and Cells*. London: University of London.
- Wiwing, Setiono. 2014. *Infeksi Nosokomial*. (Online). (<http://lpkeperawatan.blogspot.com>). Diakses pada 25 Juli 2015.
- Yunita, dkk. 2014. *Pengendalian Sel Biofilm Bakteri Patogen Oportunistik Dengan Panas Dan Klorin*. Fakultas Mipa. Universitas Sumatra Utara.





# LAMPIRAN

## Lampiran 1

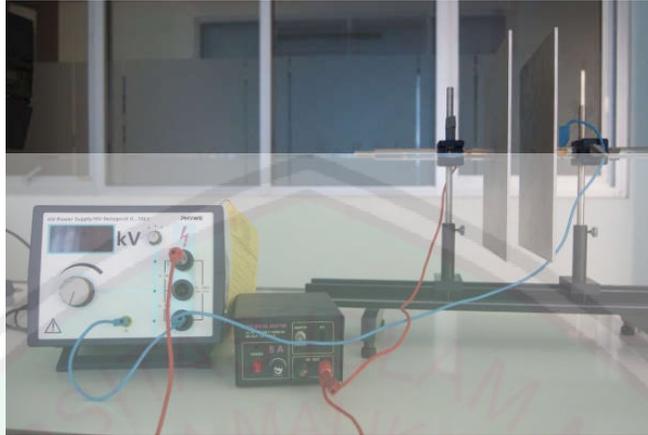
Data Hasil Koloni Bakteri *Listeria monocytogenes*

Perlakuan			Jumlah Sel Bakteri CFU/ml ( $10^8$ )			JML	
Medan Listrik	Waktu	Suhu	Sample				
			1	2	3		
Kontrol			32.14 x $10^6$	30.12 x $10^6$	27.03 x $10^6$	89.29 x $10^6$	
2.5	5	30	22.5 x $10^6$	7.69 x $10^6$	4.25 x $10^6$	34.44 x $10^6$	
		40	20.4 x $10^6$	7.01 x $10^6$	3.14 x $10^6$	30.55 x $10^6$	
		50	18.7 x $10^6$	6.52 x $10^6$	3.07 x $10^6$	28.29 x $10^6$	
	10	30	3.59 x $10^6$	3.98 x $10^6$	2.69 x $10^6$	10.26 x $10^6$	
		40	3.4 x $10^6$	3.32 x $10^6$	2.4 x $10^6$	9.12 x $10^6$	
		50	3.3 x $10^6$	3.28 x $10^6$	2.3 x $10^6$	8.88 x $10^6$	
	15	30	2.77 x $10^6$	2.32 x $10^6$	1.42 x $10^6$	6.51 x $10^6$	
		40	2.5 x $10^6$	2.28 x $10^6$	1.35 x $10^6$	6.13 x $10^6$	
		50	2.45 x $10^6$	2.21 x $10^6$	1.29 x $10^6$	5.95 x $10^6$	
	20	30	0.71 x $10^6$	0.75 x $10^6$	0.77 x $10^6$	2.23 x $10^6$	
		40	0.7 x $10^6$	0.68 x $10^6$	0.7 x $10^6$	2.08 x $10^6$	
		50	0.67 x $10^6$	0.53 x $10^6$	0.58 x $10^6$	1.78 x $10^6$	
	25	30	0.53 x $10^6$	0.35 x $10^6$	0.49 x $10^6$	1.37 x $10^6$	
		40	0.49 x $10^6$	0.31 x $10^6$	0.4 x $10^6$	1.2 x $10^6$	
		50	0.4 x $10^6$	0.24 x $10^6$	0.35 x $10^6$	0.99 x $10^6$	
	3	5	30	3.21 x $10^6$	3.14 x $10^6$	2.97 x $10^6$	9.32 x $10^6$
			40	3.18 x $10^6$	3.09 x $10^6$	2.73 x $10^6$	9 x $10^6$
			50	3.11 x $10^6$	2.95 x $10^6$	2.62 x $10^6$	8.68 x $10^6$
10		30	1.49 x $10^6$	1.38 x $10^6$	1.32 x $10^6$	4.19 x $10^6$	
		40	1.4 x $10^6$	1.31 x $10^6$	1.25 x $10^6$	3.96 x $10^6$	
		50	1.32 x $10^6$	1.26 x $10^6$	1.2 x $10^6$	3.78 x $10^6$	
15		30	0.74 x $10^6$	0.86 x $10^6$	0.89 x $10^6$	2.49 x $10^6$	
		40	0.6 x $10^6$	0.75 x $10^6$	0.8 x $10^6$	2.15 x $10^6$	
		50	0.52 x $10^6$	0.61 x $10^6$	0.7 x $10^6$	1.83 x $10^6$	
20		30	0.57 x $10^6$	0.79 x $10^6$	0.44 x $10^6$	1.8 x $10^6$	
		40	0.52 x $10^6$	0.67 x $10^6$	0.39 x $10^6$	1.58 x $10^6$	
		50	0.47 x $10^6$	0.5 x $10^6$	0.32 x $10^6$	1.29 x $10^6$	
25	30	0.05 x $10^6$	0.06 x $10^6$	0.09 x $10^6$	0.2 x $10^6$		

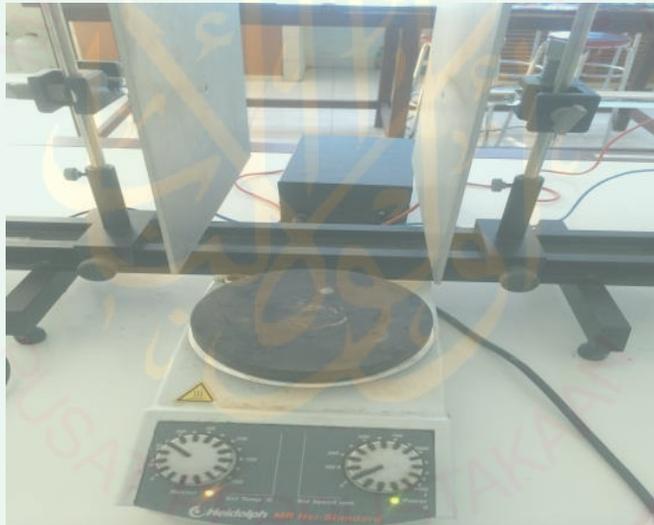
		40	$0.003 \times 10^6$	$0.004 \times 10^6$	$0.007 \times 10^6$	$0.014 \times 10^6$
		50	$0.002 \times 10^6$	$0.003 \times 10^6$	$0.006 \times 10^6$	$0.011 \times 10^6$
3.5	5	30	$0.021 \times 10^6$	$0.022 \times 10^6$	$0.3 \times 10^6$	$0.343 \times 10^6$
		40	$0.018 \times 10^6$	$0.02 \times 10^6$	$0.28 \times 10^6$	$0.318 \times 10^6$
		50	$0.016 \times 10^6$	$0.017 \times 10^6$	$0.019 \times 10^6$	$0.052 \times 10^6$
	10	30	$0.015 \times 10^6$	$0.015 \times 10^6$	$0.016 \times 10^6$	$0.046 \times 10^6$
		40	$0.013 \times 10^6$	$0.012 \times 10^6$	$0.014 \times 10^6$	$0.039 \times 10^6$
		50	$0.011 \times 10^6$	$0.009 \times 10^6$	$0.013 \times 10^6$	$0.033 \times 10^6$
	15	30	$0.01 \times 10^6$	$0.009 \times 10^6$	$0.028 \times 10^6$	$0.047 \times 10^6$
		40	$0.01 \times 10^6$	$0.008 \times 10^6$	$0.014 \times 10^6$	$0.032 \times 10^6$
		50	$0.009 \times 10^6$	$0.007 \times 10^6$	$0.012 \times 10^6$	$0.028 \times 10^6$
	20	30	$0.005 \times 10^6$	$0.003 \times 10^6$	$0.004 \times 10^6$	$0.012 \times 10^6$
		40	$0.003 \times 10^6$	$0.002 \times 10^6$	$0.005 \times 10^6$	$0.01 \times 10^6$
		50	$0.001 \times 10^6$	$0.0009 \times 10^6$	$0.004 \times 10^6$	$0.0059 \times 10^6$
	25	30	$0.00047 \times 10^6$	$0.00053 \times 10^6$	$0.00037 \times 10^6$	$0.00137 \times 10^6$
		40	$0.00038 \times 10^6$	$0.00042 \times 10^6$	$0.00028 \times 10^6$	$0.00108 \times 10^6$
		50	$0.00028 \times 10^6$	$0.00035 \times 10^6$	$0.00021 \times 10^6$	$0.00084 \times 10^6$

## Lampiran 2

### Persiapan Rangkaian Alat



1 Set Medan Listrik



Hot Plate

### Lampiran 3

#### Alat dan bahan Penelitian



Gambar autoklaf



Gambar media PCA



Gambar aquades setelah sterilisasi



Gambar cawan petri setelah sterilisasi



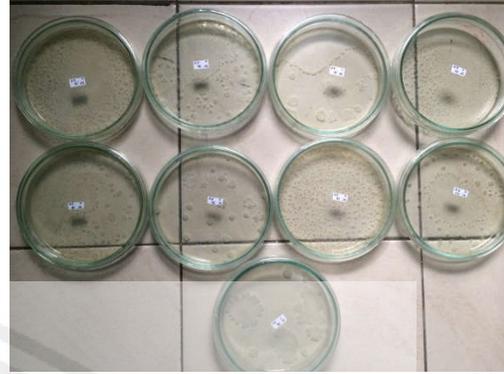
Gambar proses pengenceran



Gambar Inkobator



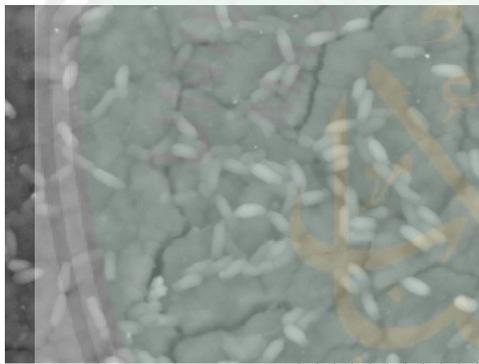
Gambar Coloni Counter



Gambar Koloni Bakteri

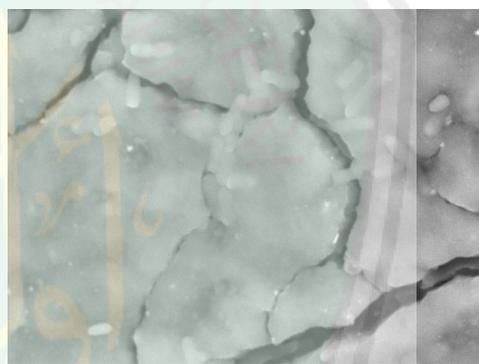
#### Lampiran 4

Hasil SEM Bakteri *Listeria monocytogenes*



2,5 kv  
gali  
2017/01/24 AL D4.7 x6.0k 10 um

Perbesaran 6000x, Medan Listrik 2,5



3,5 kv  
gali  
2017/01/24 AL D4.0 x6.0k 10 um

Perbesaran 6000x, Medan Listrik 2,5

Lampiran 5



KEMENTERIAN AGAMA RI  
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI (UIN) MAULANA MALIK IBRAHIM  
MALANG

FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI

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

BUKTI KONSULTASI SKRIPSI

Nama : GALIH ADI CHANDRA  
NIM : 11640018  
Fakultas/ Jurusan : Sains dan Teknologi/ Fisika  
Judul Skripsi : OPTIMASI MEDAN LISTRIK BERPULSA UNTUK PENONAKTIFAN  
BIOFILM BAKTERI *Listeria monocytogenes*  
Pembimbing I : Dr. H. Mokhammad Tirono, M.Si  
Pembimbing II : Umayatus Syarifah M.A

No	Tanggal	Hal	Tanda Tangan
1	4-Ags-17	Konsultasi Bab I, II, dan III	
2	28-Ags-16	Konsultasi Kajian Agama	
3	30-Ags-16	Konsultasi Kajian Agama Bab I dan II	
4	31-Sep-16	Konsultasi Kajian Agama Bab I dan II	
5	4-Sep-17	Konsultasi Data dan Pengolahan Data	
		Konsultasi Kajian Agama Bab IV	
6	11-Sep-16	Konsultasi Bab IV dan V	
7	20-Nov-17	Konsultasi Bab IV	
8	1-Feb-18	Konsultasi Bab VI	
9	6-Feb-18	Konsultasi Bab VI	
10	8-Jul-18	ACC Keseluruhan	

Malang, .....  
Mengetahui,  
Ketua Jurusan Fisika,

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