

**OPTIMASI MEDAN LISTRIK BERPULSA UNTUK
MENGHAMBAT PERTUMBUHAN BIOFILM *Listeria*
*monocytogenes***

SKRIPSI

Oleh:

Juwita Ayu Bestari

NIM. 10640059



**JURUSAN FISIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK
IBRAHIM MALANG
2015**

**OPTIMASI MEDAN LISTRIK BERPULSA UNTUK MENGHAMBAT
PERTUMBUHAN BIOFILM *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:
Juwita Ayu Bestari
NIM. 10640059**

**JURUSAN FISIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM
MALANG
2015**

HALAMAN PERSETUJUAN

OPTIMASI MEDAN LISTRIK BERPULSA UNTUK MENGHAMBAT
PERTUMBUHAN BIOFILM *Listeria monocytogenes*
(STRATEGI PENGAWETAN PANGAN PADA BUAH APEL)

SKRIPSI

Oleh:
Juwita Ayu Bestari
NIM. 10640059

Telah Diperiksa dan Disetujui untuk Diuji:
Tanggal : 29 Oktober 2015

Pembimbing I

Pembimbing II

Ahmad Abtokhi, M. Pd
NIP. 19761003 200312 1 004

Drs. M. Tirono, M. Si
NIP. 19641211 199111 1 001

Mengetahui,
Ketua Jurusan Fisika

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

HALAMAN PENGESAHAN

OPTIMASI MEDAN LISTRIK BERPULSA UNTUK MENGHAMBAT PERTUMBUHAN BIOFILM *Listeria monocytogenes*

SKRIPSI

Oleh:
Juwita Ayu Bestari
NIM. 10640059

Telah Dipertahankan di Depan Dewan Penguji Skripsi dan
Dinyatakan Diterima sebagai Salah Satu Persyaratan
untuk Memperoleh Gelar Sarjana Sains (S.Si)
Tanggal : 11 November 2015

Penguji Utama:	<u>Erika Rani, M.Si</u> NIP. 19810613 200604 2 002	
Ketua Penguji:	Farid Samsu H, M.T NIP. 19740513 200312 1 001	
Sekretaris Penguji:	<u>Ahmad Abtokhi, M.Pd</u> NIP.19761003 200312 1 004	
Anggota Penguji:	<u>Drs. M. Tirono, M.Si</u> NIP. 19641211 199111 1 001	

Mengesahkan,
Ketua Jurusan Fisika

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

HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Juwita Ayu Bestari

NIM : 10640059

Fakultas/Jurusan : Sains dan Teknologi/Fisika

Judul Penelitian : Optimasi medan listrik berpulsa untuk menghambat pertumbuhan biofilm *Listeria monocytogenes*.

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri, bukan merupakan pengambilalihan data, tulisan atau pikiran orang lain yang saya akui sebagai hasil tulisan atau pikiran saya sendiri, kecuali dengan mencantumkan sumber cuplikan pada daftar pustaka.

Apabila kemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan skripsi ini hasil jiplakan, maka saya menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Malang, 2015

Yang membuat pernyataan,

Juwita Ayu Bestari

NIM. 10640059

MOTTO

NEVER SAY CAN'T BEFORE TRYING IT

(JANGAN KATAKAN TIDAK SEBELUM MENCOBA)

HALAMAN PERSEMBAHAN

Alhamdulillahil'alamin...

Tiada daya dan kekuatan kecuali pertolongan Allah SWT

Tiada yang dapat menandingi sifat Rahman dan Rahim-Nya

Tiada yang bisa ku lakukan, kecuali ibadah seumur hidupku kepada-Nya

Allahumma sholli 'alasayyidina Muhammad...

Pelita umat, rahmatallil'alamin semoga senantiasa mendapat syafaatnya.

Kedua orang tuaku, bapak Wa'im dan Ibu Liswati yang telah bekerja keras mengasuh, mendidik, membimbing, dan berdoa tiada henti dengan penuh kasih sayang, ketikhlasan serta kesabaran. Kakakku Ibrahim Hasan, bahagia dan sedihku bersamanya. Adikku Merry Ganiyah pelipur lara dikala sedihku.

Kepada keluargaku Fisika-B 2010 Aisyah, Echa, Bunda Inna, Anis Rempong, Fitri, Reni, Dyah, Mbak Milla, Lely, Neng Dhora, Ais, Kaconk, Farwaidz, bang Yasin, Mezar, Syarif, Sino, Helmy, Abu, Huda, Munir, Solikin, Yanuar, Danil, Arif yang selalu membuatku tersenyum. Wujud suatu kebersamaan dan kekeluargaan yang tak bisa digantikan dengan sesuatu yang berharga sekalipun. *PHYSICS_B 2010 UNTIL THE END.*

Kepada teman-teman seperjuangan pada saat penelitian, Annisa, S'in, Evi, Yusro Fis'10, mbak Faizah Biologi, kalian hiburanku saat penatku.

Kepada penghuni kost no.15 Novi unyil, Lely lelot, unni Fadel terima kasih banyak telah memberikan semangat dan menghibur hingga tugas akhir ini terselesaikan.

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Wr. Wb

Syukur Alhamdulillah penulis haturkan kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan Rahmat dan Hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan studi di Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang sekaligus menyelesaikan ini dengan baik.

Selanjutnya penulis haturkan ucapan terima kasih seiring do'a dan harapan *jazakumullah ahsanal jaza'* kepada semua pihak yang telah membantu terselesaikannya skripsi ini. Ucapan terima kasih ini penulis sampaikan kepada :

1. Prof. Dr. H. Mudjia Raharjo, M.Si selaku Rektor Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang, yang telah banyak memberikan pengetahuan dan pengalaman yang berharga.
2. Dr. Drh. Hj. Bayyinatul Muchtaromah, M.Si selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
3. Erna Hastuti, M.Si selaku ketua Jurusan Fisika Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
4. Ahmad Abtokhi, M.Pd selaku dosen pembimbing skripsi, yang telah banyak memberi masukan dan pengarahan yang sangat berarti.
5. Segenap civitas akademika Jurusan Fisika, terutama seluruh dosen, terima kasih atas ilmu dan bimbingannya.
6. Semua pihak yang ikut membantu dalam menyelesaikan skripsi ini baik berupa materiil maupu moriil.

Penulis berharap semoga skripsi ini bisa memberikan manfaat kepada para pembaca khususnya bagi penulis secara pribadi. *Amin Ya Rabbal Alamin.*

Wassalamua'alaikum Wr. Wb

Malang, 2015

Penulis



DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGANTAR	ii
HALAMAN PERSETUJUAN	iii
HALAMAN PENGESAHAN	iv
HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN	v
MOTTO	vi
HALAMAN PERSEMBAHAN	vii
KATA PENGANTAR	viii
DAFTAR ISI	x
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
ABSTRAK	
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	7
1.3 Tujuan	7
1.4 Manfaat	8
1.5 Batasan Masalah	8
BAB II KAJIAN PUSTAKA	
2.1 Pengertian listrik	9
2.1.1 Sifat-sifat listrik	9
2.1.2 Teori dasar medan listrik	10
2.1.3 Kuat medan listrik	12
2.1.4 Polarisasi elektronik	15
2.1.5 Potensial Transmembran pada Bakteri	17
2.2 Bakteri	18
2.2.1 Struktur bakteri	20
2.3 Bakteri <i>Listeria monocytogenes</i>	23
2.3.1 Karakteristik umum	24
2.3.2 Morfologi	25
2.3.3 Klasifikasi	25
2.3.4 Bahaya pada manusia	26
2.3.5 Penyebaran	27
2.3.6 Penyebab	27
2.3.7 Penularan	27
2.4 Biofilm	28
2.4.1 Proses pembentukan biofilm	30
2.4.2 Efek biologis bakteri yang dipapari medan listrik	35
2.4.3 Faktor-faktor yang mempengaruhi medan listrik dalam inaktivasi mikroba	40
2.4.4 Aplikasi dari teknologi PEF dalam pengawetan makanan	42
BAB III METODOLOGI	
3.1 Jenis penelitian	44
3.2 Waktu dan Tempat Penelitian	46

3.3 Alat dan Bahan	46
3.3.1 Alat-alat yang digunakan.....	46
3.3.2 Bahan-bahan yang digunakan.....	47
3.4 Desain rangkaian alat.....	47
3.5 Penyiapan bakteri <i>Listeria monocytogenes</i>	47
3.6 Prosedur penelitian	48
3.6.1 Reparasi sampel.....	48
3.6.2 Teknik pengambilan data.....	49
3.6.3 Penghitungan koloni bakteri.....	50
3.7 Teknik Pengumpulan data	51
3.8 Teknik analisis data	52
BAB IV DATA HASIL DAN PEMBAHASAN	
4.1 Data hasil penelitian	53
4.2 Analisis data	56
4.2.1 Analisis Scanning Electron Mikroscope (SEM).....	56
4.2.2 Analisis deskriptif.....	58
4.2.3 Analisis uji <i>Two Way Anova</i>	60
4.2.4 Analisis uji <i>Post Hoc Duncan</i>	62
4.3 Pembahasan	64
4.4 Integrasi dengan Al-Qur'an	69
BAB V PENUTUP	
5.1 Kesimpulan.....	72
5.2 Saran	73
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Medan listrik yang terbentuk oleh muatan	11
Gambar 2.2 Arah garis gaya medan listrik pada plat sejajar.....	12
Gambar 2.3 Titik B berada di dalam daerah medan listrik yang disebabkan oleh benda bermuatan A.....	13
Gambar 2.4 Struktur sel bakteri	21
Gambar 2.5 Bakteri <i>Listeria monocytogenes</i>	25
Gambar 2.6 Proses pembentukan biofilm	30
Gambar 2.7 Proses pembentukan biofilm	34
Gambar 2.8 Diagram kerusakan membran sel	37
Gambar 2.9 Elektroporasi membran sel.....	37
Gambar 2.10 Kisaran parameter untuk aplikasi bioelektrik.....	38
Gambar 3.1 Diagram alir penelitian.....	46
Gambar 3.2 Rangkaian Percobaan sebagai perlakuan pada Bakteri <i>Listeria monocytogenes</i>	48
Gambar 4.1 Bentuk pulsa persegi	54
Gambar 4.2 Grafik hubungan antara medan listrik dan jarak	55
Gambar 4.3 Citra SEM biofilm <i>Listeria monocytogenes</i> sebelum dipapari medan listrik berpulsa yang diinkubasi selama 6 hari dengan perbesaran 10000 kali	58
Gambar 4.4 Uji SEM biofilm bakteri <i>Listeria monocytogenes</i> setelah dipapari medan listrik berpulsa dengan skala perbesaran 10.000 kali	59
Gambar 4.5 Grafik paparan medan listrik berpulsa 3 kV/cm terhadap biofilm dengan variasi lama paparan dan suhu lingkungan.....	60
Gambar 4.6 Grafik pengaruh kuat medan listrik berpulsa 3,5 kV/cm terhadap biofilm dengan variasi lama paparan dan suhu lingkungan	61

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Data Hasil Pengamatan (untuk masing-masing bakteri).....	52
Tabel 4.1 Data hasil rata-rata jumlah koloni bakteri <i>Listeria monocytogenes</i> yang terpapar medan listrik berpulsa.....	56
Tabel 4.2 Uji Statistik <i>Two Way Anova</i> ketika diberi medan listrik berpulsa	62
Tabel 4.3 Uji <i>Post hoc Duncan</i> dengan variasi Kuat Medan Listrik Berpulsa....	63
Tabel 4.5 Uji <i>Post hoc Duncan</i> dengan variasi waktu	64
Tabel 4.6 Uji <i>Post hoc Duncan</i> dengan variasi suhu lingkungan	64



DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1 Data Hasil Koloni Bakteri *Listeria monocytogenes*
- Lampiran 2 Data Hasil Presentase Penurunan Bakteri *Listeria monocytogenes*
Setelah Dipapar oleh Medan Listrik Berpulsa
- Lampiran 3 Data hasil pengukuran medan listrik terhadap jarak
- Lampiran 4 Dokumentasi Penelitian



ABSTRACT

Ayu Bestari, Juwita. 2015. **Optimation of Pulse Electric Field (PEF) to Inhibition the Growth of *Listeria monocytogenes* Biofilm.** Thesis. Phisycs Departement, Faculty of Science and Technology, Islamic State University of Maulana Malik Ibrahim Malang.
Advisor: (I) Abtokhi Ahmad, M. Pd (II) Drs. M. Tirono, M.Si

Keywords: the electric field, Biofilm, *Listeria monocytogenes*

The electric field is the area or space around the electrically objects. The electric field capacitor two plates are obtained from the given voltage. This research uses a biofilm bacteria *Listeria monocytogenes* which are incubated for 6 days. The purpose of this research is to know the influence of the strong pulsed electric field, long exposure and the temperature of the environment against the growth of *Listeria monocytogenes* biofilms.

Listeria monocytogenes bacteria growths processed performed on the media NA for 24 hours and then grown on a medium of NB and a catheter that's been sterilized for 24 hours. The exposure process done by putting samples of biofilms among 2 plates of the capacitor with the variation of the pulsed electric field strength of 3 kV/cm; 3.25 kV/cm; and 3.5 kV/cm and long exposure of 15 minutes; 20 minutes; and 25 minutes then temperature 20o, 30o, 40o, 50 °C. After being exposed to bacteria grown on a medium of NB for 24 hours and then diluted with aquades to be counted the number of colonies.

The results of this research show that pulse electric field strength, long exposure and the environmental temperature affects the number of colonies of the bacteria *Listeria monocytogenes*. Optimal inhibition of bacterial growth is the field strength 3.5 kV / cm, length of exposure 25 minutes and 50 °C ambient temperature with a colony count of 0.2×10^8 CFU / ml. Inhibition of bacterial growth is caused by the bacterial cell membrane is damaged, causing the release of intracellular material. Cellular membrane damage causes by the electroporation which can increase membrane potential. The higher the electric field is imposed, then the higher the *transmembrane* voltage increases.

ABSTRAK

Ayu Bestari, Juwita. 2015. **Optimasi Medan Listrik Berpulsa untuk Menghambat Pertumbuhan Biofilm *Listeria monocytogenes***. Skripsi. Jurusan Fisika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri (UIN) Maulana Malik Ibrahim Malang.
Pembimbing: (I) Ahmad Abtokhi, M.Pd (II) Drs. M. Tirono, M.Si

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 paparan dan suhu lingkungan terhadap pertumbuhan biofilm *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 paparan dilakukan dengan cara meletakkan sampel biofilm diantara 2 plat kapasitor dengan variasi kuat medan listrik berpulsa sebesar 3 kV/cm; 3.25 kV/cm; dan 3.5 kV/cm dan lama paparan 15 menit; 20 menit; dan 25 menit. Setelah dipaparkan 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 paparan dan suhu lingkungan mempengaruhi jumlah koloni bakteri *Listeria monocytogenes*. Penghambatan pertumbuhan bakteri yang optimal yaitu pada kuat medan 3.5 kV/cm, lama paparan 25 menit dan suhu lingkungan 50 °C dengan jumlah koloni sebesar 0.2×10^8 CFU/ml. Terhambatnya pertumbuhan bakteri ini disebabkan oleh karena membran seluler bakteri rusak, sehingga menyebabkan keluarnya materi intraseluler. Kerusakan membran seluler disebabkan oleh terjadinya elektroporasi yang dapat meningkatkan potensial membran. Semakin tinggi medan listrik yang dikenakan, maka peningkatan tegangan transmembran semakin tinggi.

مستخلص

جويتا أيوا بيسيتاري. ٢٠١٥. تعظيم الاستفادة من نابض المجال الكهربائي لمنع نمو بيوفيلم من الليستريا المستوحدة. بحث جامعي. قسم الفيزياء، كلية العلوم والتكنولوجيا بجامعة مولانا مالك إبراهيم الإسلامية الحكومية مالانق.

المشرف: ١. أحمد أبطخي الماجستير ٢. الدكتور م. تيرانوا الماجستير

الكلمات الأساسية: المجال الكهربائي، بيوفيلم، الليستريا المستوحدة

المجال الكهربائي هو المنطقة أو المساحة حول الكائنات التي تم المشحونة كهربائياً. يتم الحصول على حقل كهربائي من اثنين من لوحات مكثف تعطى الجهد. تستخدم هذه الدراسة البكتيريا بيوفيلم حضنت الليستريا المستوحدة لمدة ٦ أيام. وكان الهدف من هذه الدراسة هو تحديد تأثير نابض قوة الحقل الكهربائي، ومدة التعرض ودرجة الحرارة المحيطة على نمو الليستريا المستوحدة بيوفيلم.

عملية النمو للبكتيريا الليستريا المستوحدة أداء على NA المتوسطة خلال ٢٤ ساعة المقبلة، ثم نمت على NB المتوسطة وتعقيم القسطرة لمدة ٢٤ ساعة. تتم العملية التعرض عن طريق وضع عينات بيوفيلم بين اثنين من لوحة مكثف مع اختلاف قوة الحقل الكهربائي نابض من ٣ كيلو فولت / سم؛ 03:25 كيلو فولت / سم؛ و 3.5 كيلو فولت / سم و ١٥ م التعرض الطويل. بعد التعرض للبكتيريا نمت على NB المتوسطة خلال ال ٢٤ ساعة القادمة والمخفف بالماء المقطر لحساب عدد من المستعمرات.

و نتائج هذه الدراسة تشير إلى أن نابض قوة الحقل الكهربائي، ومدة التعرض ودرجة الحرارة البيئية تؤثر على عدد من مستعمرات البكتيريا الليستريا المستوحدة. تثبيط الأمثل لنمو البكتيريا هو قوة المجال 3،5 كيلو فولت / سم، وطول التعرض ٢٥ دقيقة و ٥٠ درجة مئوية درجة الحرارة المحيطة مع عدد مستعمرة $10^8 \times 0.2$ خلية / مل. يحدث تثبيط نمو البكتيريا عن طريق غشاء الخلية البكتيرية تلف، مما تسبب في الإفراج عن المواد داخل الخلايا. الضرر الغشاء الخلوي الناجم عن Elektroporasi للالتي يمكن أن تزيد احتمال الغشاء. وفرضت أعلى الحقل الكهربائي، ثم الزيادة في الغشاء الجهد العالي.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar belakang

Kebutuhan pangan merupakan kebutuhan mendasar bagi manusia dalam mempertahankan hidup, oleh karena itu kecukupan pangan merupakan salah satu hak asasi yang wajib terpenuhi. Pemenuhan kebutuhan pangan bagi seluruh masyarakat menjadi sasaran utama kebijakan pangan pemerintahan di suatu negara, termasuk di Indonesia. Salah satu sumber pangan yang melimpah tetapi hingga saat ini belum optimal dapat memenuhi kebutuhan masyarakat adalah produk hortikultura berupa buah-buahan.

Kebutuhan buah-buahan di Indonesia semakin hari semakin bertambah. Salah satu kebutuhan buah tersebut adalah buah apel yang biasa dikonsumsi dalam wujud apel segar. Untuk memenuhi kebutuhan buah apel tersebut maka Indonesia selain mengandalkan buah lokal juga melakukan impor dari luar negeri.

Langkah pemerintah untuk memenuhi kebutuhan pangan berupa buah-buahan terlihat relatif besar. Pada Januari 2012 hingga Nopember 2012 Indonesia mengimpor sebanyak 759,5 ribu ton dengan nilai US\$ 814,9 juta buah-buahan (detik finance, Selasa 9/2/2013). Beberapa jenis buah impor yang menyerbu pasar Indonesia antara lain: apel, pir, jeruk, anggur, durian, almond, buah kiwi, lengkeng, buah naga, dan kurma.

Kebijakan pemerintah dan importir buah-buahan, memiliki dampak terhadap kualitas bahan pangan tersebut, hal ini dapat terjadi karena lamanya waktu distribusi dari produsen ke konsumen, standar penyimpanan yang tidak

memenuhi, proses pengawetan yang tidak baik, serta proses produksi yang tidak higienis, terkontaminasi oleh beberapa jenis bakteri sehingga menjadi sumber penyakit bagi tubuh manusia.

Pada 26 Januari 2015 lalu, masyarakat dikejutkan dengan larangan yang dikeluarkan oleh Direktur Jenderal Standardisasi dan Perlindungan Konsumen Kementerian Perdagangan (Kemendag) untuk mengimpor dan mengonsumsi apel asal Amerika Serikat (AS), khususnya apel yang dikemas di Bidart Bros, Bakersfield, California, karena ada indikasi terkontaminasi bakteri *Listeria monocytogenes*. The Center for Disease Control and Prevention (CDC) Amerika Serikat juga melaporkan, total ada 32 orang di 11 negara bagian terinfeksi bakteri. Dilaporkan pula 31 orang dirawat di rumah sakit dan 7 di antaranya meninggal. Tiga kasus kematian dipastikan terkait bakteri *Listeria monocytogenes*, yang ditemukan dalam makanan olahan dari apel Granny Smith dan Gala.

Kepala Badan Penelitian dan Pengembangan Kesehatan (Balitbangkes) Kementerian Kesehatan Prof. Dr. Tjandra Yoga Aditama menyebutkan terdapat 4 gejala klinis yang timbul akibat infeksi *Listeria monocytogenes* yaitu: pada wanita hamil, dapat menimbulkan gejala seperti flu, sampai lebih berat sampai keguguran dan bahkan kematian. Infeksi pada bayi baru lahir (neonatal), dapat berupa sepsis atau meningitis (radang selaput otak). Gangguan sistem syaraf seperti kelumpuhan, meningitis, meningoensefalitis, abses otak, dengan keluhan kaku kuduk, demam, kejang, gangguan saluran cerna seperti muntah, diare, demam, dan sebagainya.

Direktur Jenderal Pengendalian Penyakit dan Penyehatan Lingkungan Kemenkes RI, dr. H. M. Subuh menyebutkan: bakteri *Listeria monocytogenes* hanya dapat didiagnosis secara pasti dengan cara membiakkan organisme ini dari darah, cairan cerebrospinal yaitu cairan otak dan sumsum tulang belakang, atau kotoran (sulit dilakukan dan terbatas kegunaannya), dan karakteristik bakteri ini akan mati pada temperatur 75° C.

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

فَلْيَنْظُرِ الْإِنْسَانُ إِلَى طَعَامِهِ ۚ ﴿٢٤﴾

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

Ayat al-Qur'an diatas memerintahkan manusia agar selalu memperhatikan makanan yang dikonsumsi. Dengan demikian manusia harus memperhatikan bahwa makanannya harus bersih, sehat, bisa dikonsumsi dan halal. Sebagaimana dalam Al-Qur'an surat Al-Maidah ayat 88 yang berbunyi:

وَكُلُوا مِمَّا رَزَقَكُمُ اللَّهُ حَلَالًا 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-Maidah: 88).

Ayat di atas memerintahkan manusia untuk mengkonsumsi makanan yang halal dan thayyiban dan berhati-hati dalam memilih makanan yang akan dikonsumsi apakah makanannya yang dikonsumsi baik untuk kesehatan ataukah tidak. Maka dari itu perlu dilakukan upaya agar makanan tetap halal dan baik melalui

sanitasi yang benar terhadap makanan (Chandra, 2006). Sanitasi ini dilakukan sebagai upaya pencegahan terhadap kemungkinan bertumbuh dan berkembang biaknya jasad renik pembusuk dan patogen dalam makanan yang dapat merusak makanan dan membahayakan kesehatan manusia (Oginawati, 2008).

Pengolahan pangan merupakan hal yang penting untuk dilakukan, selain bertujuan untuk menjadikan bahan pangan siap dikonsumsi juga digunakan untuk meningkatkan kualitas dan umur simpan dengan cara membunuh bakteri patogen. Hal yang sering terabaikan dalam proses pengolahan pangan ialah terdegradasinya kandungan gizi pada bahan pangan. Rusaknya kandungan gizi pada bahan pangan ini umumnya dikarenakan pengolahan bahan pangan dengan menggunakan proses *thermal* (Haris dan Karmas, 1998).

Penghambatan pembiakan bakteri menggunakan bahan-bahan berbahaya seperti pengawet, pewarna, dan penstabil masih sering ditemukan pada produk-produk pangan termasuk buah apel (Dwiyitno dan Riyanto R, 2006). Penggunaan bahan berbahaya seperti formalin masih marak dilakukan. Agar hal seperti ini tidak terjadi lagi, perlu dicarikan jalan keluar untuk mengatasinya, khususnya dengan biaya operasional yang murah dan mudah dilakukan. Beberapa alternatif telah mulai diteliti, misalnya dengan cara memaparkan medan listrik berpulsa pada bahan makanan yang akan diawetkan. Prinsip dari cara ini adalah dengan memberikan paparan medan listrik berpulsa pada benda atau obyek paparan, oleh karena sifat dari medan listrik yang mampu menembus bagian terdalam dari suatu obyek, maka dipastikan sesuatu termasuk bakteri yang ada didalamnya akan terpengaruh.

Penghambatan pembiakan bakteri menggunakan medan listrik ac didasarkan pada terjadinya elektroporasi pada membran sel bakteri, sehingga menyebabkan pori *irreversible* dan *reversible* tergantung dari intensitasnya. 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.

Penelitian 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, durasi pulsa 0,3 ms. Penelitian dilakukan dengan variasi jumlah pulsa yaitu dari 0 sampai 20 pulsa. Hasil penelitian menunjukkan bahwa dengan lima pulsa bakteri *Saccharomyces cerevisiae* berkurang $3.3 \pm 0.6 \log \text{ cfu/mL}$ dan *Candida stellafa* berkurang $3.5 \pm 0.2 \log \text{ cfu/mL}$. Dengan 20 pulsa bakteri *Eschenchia coli* berkurang $1.3 \pm 0.4 \log \text{ cfu/mL}$ dan *Listeria innocua* berkurang 2,5 logs cfu/ml pada pH 6,6 . Kelemahan dari penelitian ini adalah pengurangan jumlah bakteri relatif kecil.

Penelitian yang sama dilakukan oleh Bonetta S.et.al. Sampel penelitian adalah Bakteri *E. Coli* dan *S. Aureus* yang ditumbuhkan pada medium kedelai. Uji *E. Coli* dengan medan listrik 25 kV/cm, durasi pulsa 1 μs , frekwensi pulsa 1 Hz, dan dipapar sebanyak 350 pulsa. Uji *S. Aureus* dengan kuat medan listrik 30

kV/cm, durasi pulsa 1 μ s, frekwensi pulsa 1 Hz, dipapar sampai 350 pulsa. Penelitian dilakukan dengan variasi jumlah pulsa yaitu dari 0 sampai 350 pulsa. Hasil penelitian menunjukkan bahwa setelah dipapar sebanyak 350 pulsa jumlah bakteri *E.Coli* yang tidak aktif adalah 5 logs, sedangkan jumlah bakteri *S. Aureus* yang tidak aktif adalah > 8 logs. Kelemahan dari penelitian ini adalah belum adanya karakterisasi kuat medan listrik yang digunakan sangat besar.

Tirono, M (2013) melakukan penelitian tentang karakterisasi medan listrik untuk menghambat pertumbuhan bakteri *Klebsiella pneumonia* dengan variasi jarak antar elektode yaitu dari 2 sampai 26 cm. Hasil penelitiannya menunjukkan bahwa semakin besar jarak antar elektrode semakin kecil kuat medan listriknya. Pada jarak 2 cm menghasilkan kuat medan listrik 4,9 kV/cm dengan faktor hambat 0,99 sedangkan pada jarak 26 cm menghasilkan kuat medan listrik 0,31 kV/cm dengan factor hambat 0,3. Penelitian yang dilakukan oleh S. Monfort dkk (2010) tentang inaktivasi *Salmonella Typhimurium* dan *Staphylococcus aureus* dengan medan listrik berpulsa pada cairan telur menggunakan medan listrik pulsa gelombang persegi 3 μ s dengan frekuensi pulsa sampai 300 Hz. Tegangan output maksimum dan arus masing-masing adalah 30 kV dan 200 A. Hasil penelitian menunjukkan bahwa inaktivasi maksimum dari *Salmonella Typhimurium* dan *Staphylococcus aureus* adalah pada perlakuan 45 kV/cm, 30 μ s, 419 kJ/kg; dan 40 kV/cm, 15 μ s, 166 kJ/kg dengan penurunan jumlah populasi sampai 4 dan 3 log cycles. Selain itu, Lasmawati (2014) menyebutkan bahwa nilai kuat medan listrik dan lama paparan, berpengaruh terhadap berkurangnya pertumbuhan bakteri

Pseudomonas aeruginosa yang melekat dan membentuk biofilm pada alat-alat medis.

Berdasarkan penjelasan di atas, akan dilakukan penelitian tentang optimasi paparan medan listrik berpulsa untuk menghambat pertumbuhan biofilm *Listeria monocytogenes* sebagai upaya untuk sanitasi makanan sekaligus pengawetan sumber pangan.

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana pengaruh variasi kuat medan listrik berpulsa terhadap pertumbuhan bakteri *Listeria monocytogenes* ?
2. Bagaimana pengaruh variasi lama paparan medan listrik berpulsa terhadap pertumbuhan bakteri *Listeria monocytogenes* ?
3. Bagaimana pengaruh variasi suhu terhadap pertumbuhan bakteri *Listeria monocytogenes* ?

1.3 Tujuan

1. Untuk mengetahui pengaruh variasi kuat medan listrik berpulsa terhadap pertumbuhan bakteri *Listeria monocytogenes*.
2. Untuk mengetahui pengaruh variasi paparan medan listrik berpulsa terhadap pertumbuhan bakteri *Listeria monocytogenes*.
3. Untuk mengetahui pengaruh variasi suhu terhadap pertumbuhan bakteri *Listeria monocytogenes*.

1.4 Manfaat

Manfaat yang diperoleh dari penelitian ini adalah:

1. Jumlah koloni bakteri *Listeria monocytogenes* yang dapat menginfeksi system kekebalan tubuh manusia dapat berkurang sehingga buah apel aman untuk dikonsumsi.
2. Menambah daya simpan buah tanpa menggunakan lemari pendingin sehingga dapat menghemat listrik.

1.5 Batasan Masalah

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

BAB II KAJIAN PUSTAKA

2.1 Pengertian Listrik

Kelistrikan adalah sifat benda yang muncul dari adanya muatan listrik. Listrik dapat juga diartikan sebagai kondisi dari partikel sub atomik tertentu, seperti elektron dan proton, yang menyebabkan penarikan dan penolakan gaya di antaranya. Bisa juga diartikan sebagai sumber energi yang disalurkan melalui kabel.

Arus listrik timbul karena muatan listrik mengalir dari saluran positif ke saluran negatif. Bersama dengan magnetisme, listrik membentuk interaksi fundamental yang dikenal sebagai elektromagnetisme. Listrik memungkinkan terjadinya banyak fenomena fisika yang dikenal luas, seperti petir, medan listrik, dan arus listrik. Listrik digunakan dengan luas di dalam aplikasi industri seperti elektronik dan tenaga listrik.

2.1.1 Sifat-sifat Listrik

Listrik memberi kenaikan terhadap 4 gaya dasar alami, dan sifatnya yang tetap dalam benda yang dapat diukur. Dalam kasus ini, frase "jumlah listrik" digunakan juga dengan frase "muatan listrik" dan juga "jumlah muatan". Ada 2 jenis muatan listrik yaitu positif dan negatif. Melalui eksperimen, muatan-sejenis saling menolak dan muatan-lawan jenis saling menarik satu sama lain. Besarnya gaya menarik dan menolak ini ditetapkan oleh Hukum Coulomb. Beberapa efek

dari listrik didiskusikan dalam fenomena listrik dan elektromagnetik (Giancoli, 2001).

Satuan unit SI dari muatan listrik adalah coulomb, yang memiliki singkatan "C". Simbol Q digunakan dalam persamaan untuk mewakili kuantitas listrik atau muatan. Contohnya, " $Q=0,5\text{ C}$ " berarti "kuantitas muatan listrik adalah 0,5 coulomb".

Jika listrik mengalir melalui bahan khusus, misalnya dari wolfram dan tungsten, cahaya pijar akan dipancarkan oleh logam itu. Bahan-bahan seperti itu dipakai dalam bola lampu (bulblamp atau bohlam). Setiap kali listrik mengalir melalui bahan yang mempunyai hambatan, maka akan dilepaskan panas. Semakin besar arus listrik, maka panas yang timbul akan berlipat. Sifat ini dipakai pada elemen setrika dan kompor listrik.

2.1.2 Teori Dasar Medan Listrik

Medan adalah suatu besaran yang mempunyai harga pada tiap titik dalam ruang. Atau secara matematis, medan merupakan sesuatu yang merupakan fungsi kontinu dari posisi dalam ruang.

Medan Listrik merupakan daerah atau ruang di sekitar benda yang bermuatan listrik, dimana jika sebuah benda bermuatan lainnya diletakkan pada daerah itu masih mengalami gaya elektrostatik. Medan listrik pada muatan uji q didefinisikan sebagai gaya listrik pada muatan per besarnya muatan tersebut, $E = F/q$, dimana E adalah medan listrik, F adalah gaya listrik, dan q adalah muatan listrik. Jika sumber bermuatan positif, maka arah medan listrik adalah keluar muatan dan jika muatan sumber negatif, maka arah medan listrik masuk

menuju muatan. Andaikan ada sebuah muatan titik Q , maka besar medan listrik di titik yang berjarak r dari muatan titik Q tersebut adalah $E = k \frac{Q}{r^2}$.

Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, muatan yang tidak sejenis saling tarik, sedangkan muatan yang sejenis saling tolak. Hal ini dikarenakan ada gaya diantara dua muatan ini. Untuk memperlihatkan medan ini, kita gunakan konsep medan Faraday. Arah dari medan ini adalah berdasarkan arah gaya pada muatan positif. Arahnya keluar dari muatan positif dan masuk ke muatan negatif. Garis-garis medan ini tidak pernah saling memotong, dan kerapatannya menunjukkan seberapa kuat medan itu. Semakin rapat garis-garis itu, maka semakin kuat medan itu.

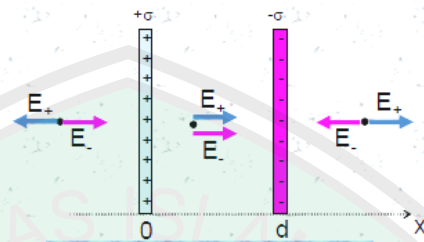


Gambar 2.1 Medan Listrik yang terbentuk oleh dua muatan listrik

Ada dua jenis muatan listrik yang diberi nama positif dan negatif. Muatan listrik selalu merupakan kelipatan bulat dari satuan muatan dasar e . Muatan dari elektron adalah $-e$ dan proton $+e$. Benda menjadi bermuatan akibat adanya perpindahan muatan dari satu benda ke benda lainnya, biasanya dalam bentuk elektron. Muatan bersifat kekal. Muatan tidak diciptakan maupun dimusnahkan pada proses pemberian muatan, tetapi hanya dapat berpindah tempat.

Bilamana dua plat sejajar yang masing-masing diberi muatan positif dan negatif, maka medan listrik terbesar ada diantara kedua plat. Sementara itu untuk pembangkitan medan listrik dapat dilakukan dengan cara memberi beda potensial

antara kedua plat. Semakin tinggi beda potensial antara dua plat, maka akan semakin tinggi kuat medan listriknya dan semakin jauh jarak antara kedua plat maka akan semakin rendah kuat medan listriknya.



E_+ = Medan listrik akibat pelat positif

E_- = Medan listrik akibat pelat negatif

Gambar 2.2 Arah garis gaya medan listrik pada plat sejajar

2.1.3 Kuat Medan Listrik

Medan gaya listrik yaitu Gaya elektrostatik yang dialami oleh satu satuan muatan positif yang diletakkan di titik itu setiap satuan muatannya. Didefinisikan sebagai hasil bagi gaya listrik yang bekerja pada suatu muatan uji dengan besar muatan uji tersebut. Besar medan listrik dari sebuah benda bermuatan listrik dinamakan kuat medan listrik. Medan listrik dikatakan kuat apabila gaya pada muatan listrik di dalam ruang bermedan listrik itu besar (Soedjojo, 1999). Jika sebuah muatan uji q' diletakkan di dalam medan listrik dari sebuah benda bermuatan, kuat medan listrik E benda tersebut adalah besar gaya listrik F yang timbul di antara keduanya dibagi besar muatan uji. Kuat medan listrik juga merupakan besaran vektor karena memiliki arah, maka penjumlahan antara dua medan listrik atau lebih harus menggunakan penjumlahan vektor. Arah medan listrik dari sebuah muatan positif di suatu titik adalah keluar atau meninggalkan muatan tersebut. Adapun, arah medan listrik dari sebuah muatan negatif di suatu titik adalah masuk atau menuju ke muatan tersebut.

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



Gambar 2.3 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 (Soedjojo, 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):

$$k = 8,988 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{C}^2 \approx 9,0 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{C}^2 \quad (2.3)$$

Konstanta k biasanya sering ditulis dalam konstanta yang lain, ϵ_0 , yang disebut permitivitas ruang hampa. Konstanta ini dihubungkan dengan $k = 1/4\pi\epsilon_0$. Dengan demikian hukum Coulomb dapat dituliskan (Giancoli, 2001):

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q_1 Q_2}{r^2} \quad (2.4)$$

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

Dengan F positif berarti gaya itu tolak-menolak dan sebaliknya F negatif berarti tarik-menarik.

Jadi berdasarkan hukum Coulomb diatas, kuat medan listrik oleh titik muatan listrik q adalah (Giancoli, 2001):

$$\begin{aligned} E &= \frac{F}{q} \\ &= k \frac{qQ/r^2}{q} \\ &= k \frac{Q}{r^2} \text{ [satu muatan titik]} \end{aligned} \quad (2.5)$$

Atau dalam ϵ_0 menjadi:

$$\vec{E} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q}{r^2} \text{ [satu muatan titik]} \quad (2.6)$$

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) (Bueche, 2006).

Dalam al-Quran surat Yaasiin (36) : 36 disebutkan,

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

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

Dalam kalimat *“menciptakan pasangan-pasangan semuanya”*, pada umumnya bermakna laki-laki dan perempuan, terang dan gelap, siang dan malam, hitam dan putih. Akan tetapi, terdapat kalimat yang memiliki cakupan makna yang lebih luas yaitu pada kalimat *“maupun dari apa yang tidak mereka ketahui”*. Dari sini tersirat bahwa terdapat salah satu pasangan yang tidak banyak diketahui orang yaitu pasangan elektron dan positron. Positron ditulis dengan simbol e^+ dan elektron ditulis dengan simbol e^- . Positron mempunyai massa yang sama dengan elektron, tetapi dengan muatan listrik yang berlawanan. Adanya dua muatan listrik yang berlawanan ini, maka timbullah medan listrik.

2.1.4 Polarisasi Elektronik

Teori atom Bohr menjelaskan bahwa struktur atom pusatnya terdiri dari proton bermuatan positif dan neutron yang netral dan diluarnya terdapat elektron yang bermuatan negatif dan bergerak memutar inti pada lintasannya. Material tersusun atas atom-atom yang saling berikatan satu sama lain. Oleh karena itu jika dikenakan medan listrik luar, maka elektron pada atom atau molekul yang bermuatan negatif akan bergeser ke arah elektroda positif, sehingga muatan negatif dan positif menjadi terpisah dan terbentuk dipol. Pemisahan titik pusat muatan ini akan berlangsung sampai terjadi keseimbangan dengan medan listrik yang

menyebabkannya. Dipol listrik yang terbentuk merupakan dipol tidak permanen, artinya dipol terbentuk selama ada pengaruh medan listrik saja. Ketika medan listrik ditiadakan, maka titik pusat muatan tersebut akan kembali berimpit lagi.

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

$$\mu_{in} = (4\pi\epsilon_0 R^3)E \quad (2.7)$$

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

2.1.5 Potensial Transmembran pada Bakteri

Sel memiliki membran plasma yang memisahkan kompartemen intra dan ekstra seluler. Bagian luar dan bagian dalam sel terdapat potensial yang sering disebut potensial transmembran. Akibat adanya potensial transmembran, maka tidak semua molekul diluar sel dapat masuk ke dalam sel. Bilamana jari-jari luar membran plasma adalah a dan jari-jari dalamnya b , dengan paparan medan listrik

luar, maka tegangan transmembran akan berubah. Besar tegangan transmembran akibat paparan medan listrik dc , oleh Maxwell dirumuskan (Valic B., *et al.*, 2003)

$$\Delta\phi_{memb} = 1,5aE_{app} \cos \theta \quad (2.8)$$

E_{app} adalah kuat medan yang dikenakan pada sel dalam *volt per sentimeter*, θ adalah sudut antara arah medan dengan arah sel.

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

$$\Delta\psi_{memb} = 1,5 aE_{app} \cos \theta / (1 + (\omega\tau)^2)^{1/2} \quad (2.9)$$

Dimana

$$\tau = aC_{memb}(\rho_{in} + \rho_{ext}/2) \quad (2.10)$$

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

$$\Delta\psi_{max} = 1,5 aE_{App}^o / (1+(\omega\tau)^2)^{1/2} \quad (2.11)$$

Rumusan ini digunakan pada medan listrik bolak-balik, dimana jika $\omega \ll \tau$, maka identik dengan dipapar menggunakan medan DC. Bilamana medan listrik *ac* diganti dengan medan listrik berpulsa akan menyebabkan terjadinya elektroporasi dan tegangan transmembrannya memenuhi persamaan (Teissié J. *et al.*, 2008; Hibino, M., *et.al.*, 1991)

$$\Delta\psi = 1,5 a E \cos \theta \left(1 - \exp(-t/\tau) \right) \quad (2.12)$$

$$\tau = aC(r_i + r_e/2) \quad (2.13)$$

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

2.2 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 (Champbell, 2002).

Bakteri tersebar di mana-mana antara lain di air, tanah, dan sebagai simbiosis dari organisme lain. Pada umumnya bakteri berukuran 0,5-5 μm . Bakteri tersusun atas dinding sel sama halnya seperti sel hewan dan jamur, akan tetapi dengan komposisi yang sangat berbeda (*peptidoglikan*). Banyak dari bakteri

yang bergerak dengan menggunakan flagela, yang berbeda dalam strukturnya dari flagela kelompok lain (Atlas, 1993). Allah berfirman dalam Q. S al-Baqarah ayat 26:

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



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

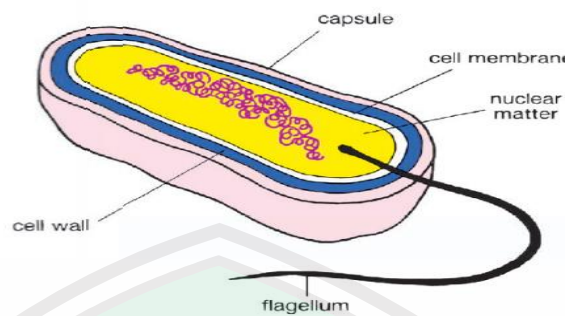
Menurut Asy-Syaukani (2008), lafadz *famaa fauqoha* (atau yang lebih rendah dari itu) pada ayat di atas maksudnya apa yang lebih kecil dari pada nyamuk dari segi makna dan fisik, mengingat nyamuk adalah makhluk kecil dan tidak berarti. Adapun hewan yang lebih kecil dari nyamuk, antara lain adalah bakteri. Bakteri merupakan organisme prokariotik. Umumnya ukuran bakteri sangat kecil, bentuk tubuh bakteri baru dapat di lihat dengan menggunakan mikroskop dengan pembesaran 1.000 X atau lebih (Waluyo, 2004). Sel bakteri memiliki panjang yang beragam, sel beberapa spesies dapat berukuran 100 kali lebih panjang dari pada sel spesies yang lain, bakteri merupakan makhluk hidup dengan dengan ukuran antara 0,1 sampai 0,3 μm . Bentuk bakteri macam-macam yaitu elips, bulat batang, dan spiral. Bakteri lebih sering diamati dalam olesan

terwarnai dengan suatu zat pewarna kimia (pewarnaan gram) agar mudah diamati atau dilihat dengan jelas dalam ukuran, bentuk, susunan dan keadaan struktur internal dan butiran. Sel-sel individu bakteri dapat berbentuk seperti bola (elips), batang (silindris), atau spiral (heliks).

Sering kali 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.

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).



Gambar 2.4 Struktur sel bakteri (Hollar S., 2012)

Berikut akan disajikan susunan dari sel bakteri (Irianto, 2007):

1. 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:

- a. 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.
- b. 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:

- a. Berperan dalam pembelahan sel.
- b. Pelaksana biosintesa dinding sel itu sendiri.
- c. Determinan antigen permukaan bakteri.

2. 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):

a. 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.

b. Sistem transpor 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.

c. Menyediakan tempat untuk reaksi utama enzim

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

3. Sitoplasma

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

a. 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.

b. Ribosom

Ribosom merupakan partikel-partikel halus yang tersebar secara baur dalam sitoplasma sel. Ribosom ini berbeda ukuran dan kepadatannya yang disesuaikan dengan tempat asalnya (Irianto, 2007).

c. Granula sitoplasma (granula penyimpanan)

Berfungsi sebagai tempat penyimpanan cadangan makanan.

d. Plasmid

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

2.3 Bakteri *Listeria monocytogenes*

Listeria monocytogenes bukan merupakan hal yang baru lagi. Sejak 1991, para ilmuwan menemukan bahwa bakteri tersebut menginfeksi hewan. Pada tahun 1929 muncul kasus pertama pada manusia. Awalnya, banyak pihak yang berpendapat bahwa hewan ternak menularkan *Listeria monocytogenes* kepada para petani, tetapi ketika muncul kasus di kota, departemen kesehatan masyarakat menyadari bahwa kontak dengan hewan bukanlah satu-satunya penyebab penyebaran *Listeria monocytogenes*.

2.3.1 Karakteristik Umum

Bakteri *Listeria monocytogenes* merupakan bakteri Gram-positif, dan motil/bergerak dengan menggunakan flagella. Dilansir dari Detik, Jumat (30/01/2015), dalam keterangan tertulisnya, Direktur Jenderal Pengendalian Penyakit dan Penyehatan Lingkungan Kemenkes RI, dr. H. M. Subuh, MPPM menjelaskan bakteri *Listeria monocytogenes* ini ditemukan di setidaknya 37 spesies mamalia, baik hewan piaraan maupun hewan liar, serta pada setidaknya 17 spesies burung, dan mungkin pada beberapa spesies ikan dan kerang. Bahkan dari penelitian diketahui, 1-10% manusia mungkin memiliki bakteri ini di dalam ususnya. Bakteri ini dapat diisolasi dari tanah, *silage* (pakan ternak yang dibuat dari daun-daunan hijau yang diawetkan dengan fermentasi), dan sumber-sumber alami lainnya. Bakteri *Listeria monocytogenes* adalah bakteri patogen penyebab listeriosis pada individu yang peka. Sebagai bakteri yang tidak membentuk spora, *Listeria monocytogenes* sangat kuat dan tahan terhadap panas, asam, dan garam, bakteri ini juga tahan pembekuan dan dapat tetap tumbuh pada suhu 40° C, khususnya pada makanan yang disimpan di lemari pendingin. Sebagian besar *Listeria monocytogenes* bersifat patogen pada tingkat tertentu. Pada kondisi tertentu, spora bakteri ditemukan paling resisten terhadap H₂O₂, diikuti dengan bakteri Gram positif, bakteri yang paling sensitif terhadap H₂O₂ adalah bakteri Gram negatif, terutama koliform (Ouweland dan Vesterlund, 2004). Bakteri *Listeria monocytogenes* juga membentuk biofilm, yakni terbentuknya lapisan lendir pada permukaan makanan (Collado et al., 2010).



Gambar 2.5 Bakteri *Listeria monocytogenes* (Collado et al., 2010)

2.3.2 Morfologi

Secara mikroskopis, *Listeria monocytogenes* nampak kecil, tergolong bakteri Gram positif, berbentuk seperti tangkai yang kadang-kadang membentuk rantai pendek. Sekilas memang bakteri ini nampak coccus, sehingga kadang orang mengira bakteri ini streptococcus. Flagel akan dibentuk pada suhu kamar tetapi bukan pada 37 °C. Aktivitas hemolitik pada darah digunakan sebagai indikator yang membedakan *Listeria monocytogenes* dengan spesies *Listeria* yang lain, tetapi ini bukan kriteria yang pasti dalam klasifikasi (Gillespie Stephen dan Bamford Kethleen, 2008).

2.3.3 Klasifikasi

Bakteri *Listeria monocytogenes* memiliki klasifikasi yaitu (Gillespie Stephen dan Bamford Kethleen, 2008) :

Kingdom : Bacteria

Phylum : Firmicutes

Classis : Bacilli

Ordo : Bacillales

Familia : Listeriaceae

Genus : Listeria

Species : *Listeria monocytogenes*

2.3.4 Bahaya Pada Manusia

Bakteri tersebut bisa menyebabkan penyakit listeriosis pada manusia. Bahkan akibatnya apel yang mengandung bakteri *Listeria monocytogenes*, yang berasal dari Amerika Serikat itu, pun telah menelan korban. Sebanyak 7 orang meninggal dan puluhan lainnya dirawat di rumah sakit. Bakteri *Listeria monocytogenes* termasuk salah satu penyebab penyakit yang serius dengan tingkat kematian sekitar 20-30 persen. Bahkan tingkat kematian pada bayi yang baru lahir dengan *Listeria monocytogenes* mencapai 25-50 persen (Tri Wahyuni, 2015).

Bakteri *Listeria monocytogenes* pada tubuh manusia menyebabkan infeksi serius dan fatal pada bayi, anak-anak, orang sakit dan lanjut usia dan orang dengan sistem kekebalan tubuh yang lemah. Sedangkan, orang yang dalam kondisi sehat yang terinfeksi bakteri ini kemungkinan akan mengalami gejala jangka pendek seperti demam tinggi, sakit kepala parah, pegal, mual, sakit perut dan diare. Sementara pada ibu hamil infeksi *Listeria monocytogenes* dapat menyebabkan keguguran (Tri Wahyuni, 2015).

2.3.5 Penyebaran

Listeria monocytogenes tersebar di alam dan biasanya dibawa oleh aneka jenis binatang peliharaan maupun liar. Daging mentah, susu tanpa pasteurisasi, buah maupun sayur mentah dapat tercemar bakteri ini. Manusia bisa terkena

Listeriosis dari makanan serta kontak dengan binatang yang terjangkit oleh bakteri *Listeria*. Bayi mungkin lahir dengan terjangkit bakteri ini jika ibunya makan makanan tercemar selama hamil. Hewan ternak mungkin terjangkit bakteri saat mencerna tumbuh-tumbuhan maupun berinteraksi dengan tanah yang mengandung bakteri *Listeria monocytogenes* (Gillespie Stephen dan Bamford Kethleen, 2008).

2.3.6 Penyebab

Bakteri *Listeria monocytogenes* ini biasanya ditemukan pada hewan liar, hewan peliharaan, tanah dan air. Pada manusia, bakteri ini seringkali menyebabkan septikemia atau meningitis. Janin, bayi baru lahir dan ibu hamil sangat rentan terhadap bakteri ini. Listeriosis pada ibu hamil yang terjadi pada awal kehamilan biasanya menyebabkan keguguran. Bakteri ini bisa melewati plasenta (ari-ari) Listeriosis pada akhir kehamilan bisa menyebabkan kelahiran mati atau kematian bayi dalam beberapa jam setelah lahir. Sekitar 50% janin yang terinfeksi pada akhir kehamilan akan meninggal.

2.3.7 Penularan

Listeriosis biasanya ditularkan melalui makanan, yaitu produk olahan susu yang tidak dipasteurisasi atau sayuran mentah yang terkontaminasi oleh bakteri *Listeria monocytogenes*. Infeksi dapat terjadi di dalam kandungan (melalui plasenta, ke janin atau melalui jalan lahir). Wabah yang terjadi di bangsal adalah akibat terjadinya infeksi silang diantara sesama bayi baru lahir. Selain itu dapat terjadi infeksi tranplasental yang menyebabkan timbulnya gejala infeksi berat

seperti *peumonia*, *sepsis*, abses milier dan abses hati. Koloni kuman ini dapat dijumpai di hidung, tenggorokan, mekonium, darah dan air seni (Gillespie Stephen dan Bamford Kethleen, 2008).

2.4 Biofilm

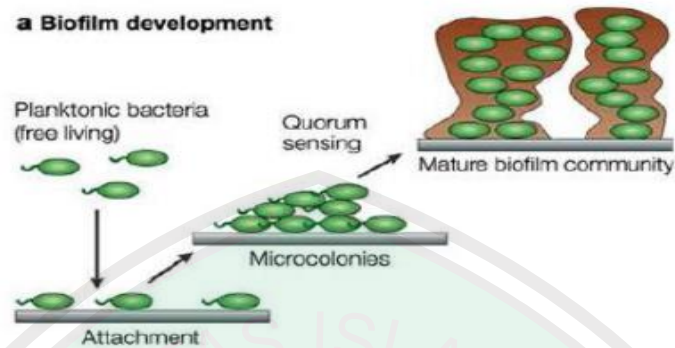
Bakteri yang hidup bebas (planktonik) dalam perairan di alam akan cenderung untuk melekat (sesil) ke berbagai macam permukaan baik abiotik maupun biotik. Pelekatan ini didukung berbagai faktor diantaranya oleh matrik ekstrasellular. Di alam, bakteri yang melekat ini jumlahnya jauh lebih besar dari yang hidup bebas (Costerton, 2006). Walaupun banyak bakteri dapat hidup dengan bebas di alam, yang sering disebut dengan istilah planktonik, tetapi terdapat pula bakteri melekat pada suatu permukaan dengan memproduksi substansi ekstraseluler polisakarida (Dearcon, 1997). Bakteri yang melekat ini akan membentuk mikro koloni, yang akan mengatur perkembangan membentuk biofilm. Pada awalnya mungkin hanya tersusun satu tipe bakteri saja, tetapi seiring perkembangannya akan tersusun beberapa tipe bakteri yang hidup dalam komunitas yang kompleks. Faktanya hampir pada setiap permukaan yang terpapar cairan dan nutrisi akan ditumbuhi mikroorganisme. Contoh umum dari biofilm adalah pada gigi kita. yang mengatur perkembangan lubang gigi (*dental caries*) ketika bakteri seperti *Streptococcus mutans* menguraikan senyawa gula menjadi asam-asam organik. Biofilm juga ditemukan pada zat padat. Biofilm ditemukan pada permukaan tangki air, pipa, alat pembedahan, dimana bakteri melekat kuat. Disinfektan tidak mampu dengan mudah menembus matriks polisakarida (Dearcon, 1997).

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 (Prakash, 2003).

Biofilm adalah lapisan yang merupakan koloni dari konsorsium mikroba yang menempel dan menutupi suatu permukaan benda padat di lingkungan berair. Para ahli mikrobiologi memperkirakan bahwa biofilm adalah cara hidup mikroorganisme yang dominan dibandingkan dengan cara hidup melayang-layang di dalam cairan atau planktonis (Helianti, 2007). Turner (2005) menjelaskan bahwa biofilm merupakan sebuah struktur komunitas dari bakteri, algae atau jenis sel lainnya yang menghasilkan matriks polimerik dan melekat pada permukaan. Bakteri kebanyakan hidup sesil (pada suatu permukaan), membentuk komunitas kehidupan jika memungkinkan, yang dapat memberikan keuntungan lebih dibanding hidup secara planktonik. Secara fisik, keberadaan biofilm dapat dicirikan sebagai berikut (Bukhari, 2005):

- Jarak ketebalan dari beberapa mikron sampai lebih dari 1000 mikron.
- Permukaan tidak rata (kasar)
- Spesies heterogen
- Tersusun dari dua bagian, yaitu dasar biofilm dan permukaan biofilm

2.4.1 Proses Pembentukan Biofilm



Gambar 2.6 Proses Pembentukan Biofilm (Turner, 2005)

Secara sederhana, siklus hidup bakteri dalam pembentukan biofilm dapat dijelaskan sebagai berikut. Pertama-tama terjadi penyesuaian dari bakteri planktonik pada suatu permukaan atau dari perpindahan atau pembelahan sel untuk menutupi suatu permukaan yang kosong. Selanjutnya bakteri ini akan memproduksi kelompok senyawa polisakarida yaitu substansi polimerik ekstraseluler (EPS) untuk melekatkan sel pada permukaan. Tahap selanjutnya adalah terjadi penambahan secara terus produksi substansi polimerik ekstraseluler (EPS). Selanjutnya sel bakteri akan melakukan pembelahan (reproduksi) guna memperbanyak jumlah dan mempertebal komposisi biofilm. Tahap terakhir adalah beberapa bakteri akan melakukan perpindahan untuk membentuk biofilm yang baru, sehingga lama-kelamaan jumlah biofilm akan semakin banyak dan membesar (Turner, 2005).

Beberapa sel pada populasi yang berbeda dari bakteri planktonik menempel ke berbagai macam permukaan. Pada medium cair yang mengalir, bakteri yang melekat memperoleh akses ke sumber nutrisi yang berkelanjutan yang dibawa oleh aliran medium. Di laboratorium ditemukan bakteri yang

kekurangan nutrien, setelah melekat ke permukaan, tumbuh menjadi ukuran yang normal kemudian memulai reproduksi sel. Pelekatan kontinyu dan pertumbuhan mendukung pembentukan biofilm (Turner, 2005).

Biofilm terbentuk ketika mikroba perintis mulai menempel pada suatu permukaan benda padat (plastik, bebatuan dan lain-lain) di lingkungan berair. Mikroba ini dapat berupa spesies tunggal atau bermacam spesies yang kemudian menghasilkan zat polimer yang kental dan lengket seperti lem ke luar sel. Inilah yang membuat mereka dapat menempel kuat pada permukaan benda padat dan saling merekatkan diri satu sama lain. Polimer yang lengket ini biasanya terdiri dari kelompok senyawa polisakarida. Polisakarida ini tidak hanya berguna untuk menempel pada suatu permukaan, tetapi juga dapat menjerat sekaligus mengkonsentrasikan zat makanan yang terkandung dalam air yang mengelilingi permukaan biofilm. Polisakarida ini juga melindungi sel mikroba dari toksik yang dapat membunuh mikroba biofilm. Karena itu dengan membuat biofilm, mikroba menjadi lebih bisa bertahan terhadap lingkungan yang tidak menguntungkan dari pada hidup secara planktonis. Kumpulan bakteri ini ibarat membangun masyarakat sebuah kota yang tangguh dimana kebutuhan hidup mikroba tersebut seperti energi, zat gizi, dan pertahanan tercukupi dengan saling tergantung satu sama lain. Mereka hidup saling menempel dengan tingkat kepadatan yang tinggi dan mobilitas individu yang hampir tidak ada.

Pertumbuhan biofilm ini bergantung pada substansi matriks bahan yang digunakan. Matriks bahan yang digunakan ini akan menyediakan aseptor elektron bagi mikroba untuk proses oksidasi dalam upaya menghasilkan energi. Selain itu,

pembentukan biofilm ini bergantung pada keragaman/variasi jenis mikroba yang tumbuh. Biofilm dapat dibentuk dari satu jenis mikroba saja, namun secara alami hampir semua jenis biofilm terdiri dari campuran berbagai jenis mikroba. Sebagai contoh fungi, algae, yeast (ragi), amoeba, bakteri dan jenis mikroba lainnya. Semakin beragam mikroba yang tumbuh, maka biofilm yang terbentuk akan semakin cepat dan kompetitif. Bagi bakteri yang bersifat aerob akan tumbuh di bagian luar, sedangkan bakteri yang bisa tumbuh secara anaerob akan berada di lapisan bagian dalam. Semakin beragam bakteri, maka interaksi antara bakteri semakin kompleks. Demikian halnya jenis mikroba yang lain.

Biofilm akan terbentuk pada permukaan yang lembab, hal ini disebabkan mikroba dapat bertahan hidup jika mikroba tersebut mendapatkan kelembaban yang cukup. Pada prosesnya biofilm mengekskresikan suatu bahan yang licin (berlendir) pada sebuah permukaan, kemudian akan menempel dengan baik di permukaan tersebut jika keadaan minimum bakteri tersebut terpenuhi. Beberapa lokasi yang dapat dijadikan tempat hidup biofilm meliputi material alami di atas dan di bawah tanah, besi, plastik dan jaringan sel. Selama kita dapat menemukan kombinasi nutrisi, air dan sebuah permukaan yang tidak mengandung senyawa beracun, disana sangat mungkin bisa temukan biofilm.

Biofilm menjaga kesatuan bentuknya dengan saling berikatan satu sama lain pada rantai molekul gula yang disebut sebagai EPS atau *extracellular polymeric substance*, yaitu terbentuknya polimer antar biofilm, sehingga kemungkinan untuk terlepas menjadi sulit. Karena dengan mengekskresikan EPS ini, masing-masing biofilm sangat mungkin saling mendukung untuk berkembang

dalam dimensi yang kompleks dan sangat erat (utuh). Matriks yang terbentuk dengan EPS ini akan melindungi sel dan memudahkan komunikasi antar sel melalui pertukaran senyawa biokimia. Beberapa biofilm berada dalam fase cair, dimana keadaan tersebut membantu sel dalam mendistribusikan zat yang dibutuhkan dan memberi sinyal molekul pada sel. Matriks ini cukup kuat, oleh sebab itu pada kondisi-kondisi tertentu, biofilm dapat berwujud padat. Masing-masing lapisan dalam biofilm akan mempunyai ketebalan yang berbeda, hal ini sangat dipengaruhi oleh keadaan lingkungan tumbuhnya.

Adapun faktor-faktor yang dapat mempengaruhi terbentuknya dan perkembangan biofilm adalah terdapat empat faktor penting, yaitu (Turner, 2005):

a. Material pada permukaan

Material pada permukaan memiliki efek yang sedikit atau bahkan tidak ada terhadap perkembangan biofilm. Mikroba akan dapat menempel pada suatu permukaan yang mengandung nutrient. Mikroba dapat menempel pada *staenless steel* atau pada permukaan plastik dengan daya yang hampir sama.

b. Areal Permukaan

Areal permukaan merupakan satu faktor utama yang mempengaruhi perkembangan biofilm.

c. Permukaan yang licin

Walaupun permukaan yang licin dapat menghambat pertumbuhan awal dari penyisipan bakteri, kelicinan tidak mempunyai efek yang sangat signifikan terhadap jumlah total biofilm pada suatu permukaan setelah beberapa hari.

d. Kecepatan aliran

Aliran yang tinggi tidak akan dapat mencegah penyisipan bakteri, tidak akan mampu menghilangkan biofilm secara keseluruhan, tetapi ketebalan biofilm akan mengalami keterbatasan.

e. Ketersediaan nutrisi

Sama halnya dengan makhluk hidup yang lainnya, bakteri juga memerlukan nutrisi untuk pertumbuhan dan reproduksi. Ketersediaan nutrisi merupakan faktor pembatas dari pertumbuhan bakteri. Biofilm yang terdapat pada daerah yang memiliki aliran (misalnya sungai atau sistem pipa), nutrisi akan diperoleh dari aliran tersebut.



Gambar 2.7 Proses Pembentukan Biofilm (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, β -Glukan dan mannoprotein (anonimous, 2014).

Biofilm juga merupakan suatu jenis pertahanan sel. Berdasarkan studi in vitro, mikroorganisme dalam bentuk biofilm dapat menghindari sistem pertahanan

inang dan lebih resisten terhadap serangan zat antimikroba 10-1.000 kali dibandingkan dalam keadaan sel planktonik (anonymous, 2014).

2.4.2 Efek Biologis Bakteri yang dipapari Medan Listrik

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

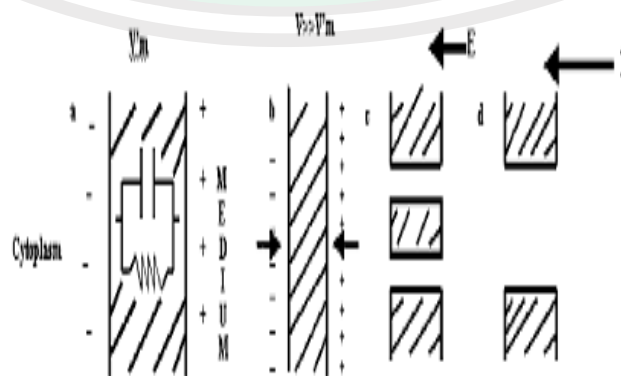
Paparan medan listrik berpulsa pada bakteri penyusun biofilm menyebabkan pergeseran muatan pada atom atau molekul, dimana yang bermuatan negatif akan bergeser kearah elektroda positif dan sebaliknya, sehingga muatan negatif dan positif menjadi terpisah dan terbentuk dipol. Pergeseran muatan ini membuat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

Peningkatan potensial transmembran pada sel membran *lipid bilayer* dan protein akan mempengaruhi tegangan membran yang menyebabkan porositas. Apabila peningkatan potensial transmembran tersebut mencapai ambang kritis diantara dinding membran dapat terjadi reduksi ketebalan sehingga memungkinkan terjadi kerusakan pada membrane sel bakteri (Fang, 2006)

sehingga pada akhirnya akan menimbulkan lubang-lubang kecil (bocor) dan kontraksi sehingga cairan tubuh akan keluar.

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

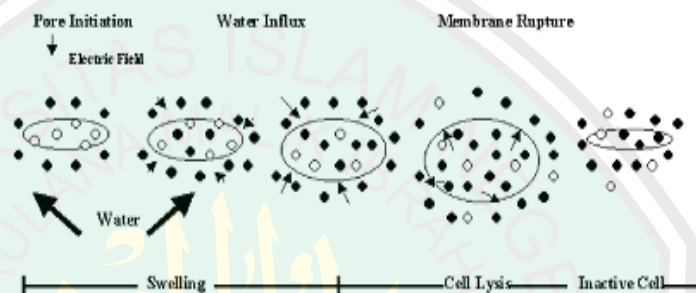
Proses elektroporasi dapat dijelaskan sebagai suatu pengaruh medan listrik terhadap dinding membran sel (*lipoprotein*) yang dapat mengakibatkan destabilisasi temporal, peningkatan potensial transmembran, pada sel membran *Lipid Bilayer* dan protein, atau akan mempengaruhi tegangan membran yang menyebabkan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



Gambar 2.8 Diagram Perusakan Membran Sel (Hadi Apriliawan, 2012)

Keterangan:

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

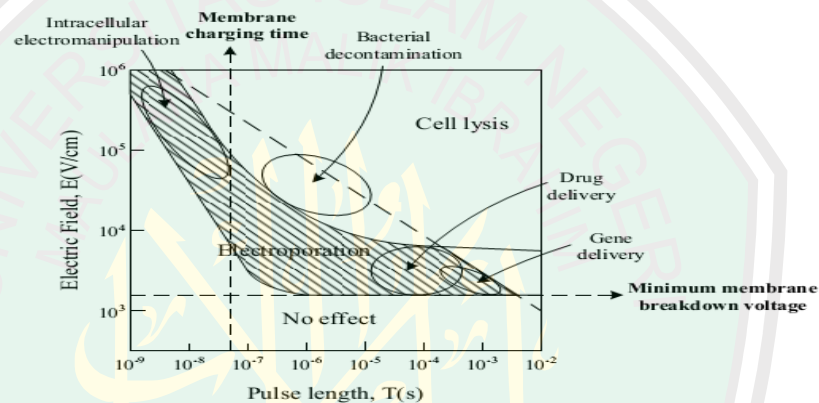


Gambar 2.9 Elektroporasi Membran Sel (Hadi Apriliawan, 2012)

Elektroporasi merupakan fenomena dimana sel tersebut pecah dengan pulsa listrik bertegangan tinggi secara temporer merusak lapisan lipid dan protein dari membran sel dan akhirnya kandungan plasma dari membran sel menjadi *permeable* terhadap molekul kecil setelah terkena medan listrik. Hal ini menyebabkan membran sel membengkak dan setelah itu pecah. Efek utama dari pengaruh medan listrik yang diberikan pada sel mikroorganisme adalah untuk meningkatkan permeabilitas membran, dalam hal ini tekanan pada membran dan pembentukan pori. Dengan meningkatkan intensitas medan listrik dan durasi gelombang atau mengurangi kekuatan ionik dari medium maka pori akan menjadi lebar (terjadi pembentukan lubang pada membran sel) (Hadi Apriliawan, 2012).

Parameter yang paling penting untuk elektroporasi yang efektif adalah kuat medan listrik dan durasi medan yang diterapkan (panjang pulsa). Beberapa

parameter besar lainnya dapat mempengaruhi efisiensi elektroporasi, seperti bentuk pulsa listrik, polaritas, jumlah interval antara pulsa, ukuran sel target dan kondisi termal selama dan sesudah pemberian pulsa. Penyerapan molekul juga bergantung pada ukuran molekul mereka, isi dan sifat fisik dan kimia lainnya (Zhao Wang, 2009). Hubungan antara dua parameter dasar yaitu kuat medan dan panjang pulsa, adalah ditunjukkan pada gambar 2.10:



Gambar 2.10 Kisaran parameter untuk aplikasi bioelectric (Medan listrik E - panjang pulsa T) (Zhao Wang, 2009)

Seperti yang ditunjukkan dalam gambar 2.10 bahwa di kisaran medan listrik kecil - durasi pulsa (E - T), poration tidak akan terjadi. Dengan meningkatnya intensitas medan atau durasi paparan, yang mendekati kisaran di mana efek yang lebih jelas diharapkan, perubahan suhu pun masih ditoleransi. Ketika E - T meningkat ke dosis vital, sel-sel di bawah paparan bisa terbunuh dan itu adalah wilayah sel lisis (Zhao Wang, 2009).

Selain perbedaan hasil E - T , perbedaan aplikasi membutuhkan kerja dalam daerah yang berbeda dari peta E - T ini. Untuk aplikasi medis, kisaran dari panjang pulsa dan medan listrik rendah di sebelah kanan dari gambar 2.10 adalah rentang operasi yang lebih disukai. Khususnya, transfeksi gen terjadi dengan parameter

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

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

2.4.3 Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Medan Listrik dalam Inaktivasi Mikroba

Terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi medan listrik dalam inaktivasi mikroba antara lain:

1. Intensitas medan listrik

Intensitas medan listrik adalah salah satu faktor utama yang mempengaruhi inaktivasi mikroba. Inaktivasi mikroba meningkat dengan peningkatan intensitas medan listrik, di atas potensi transmembran kritis (Qin dkk, 1998). Hal ini sesuai dengan teori elektroporasi, di mana perbedaan potensial diinduksi melintasi membran sel sebanding dengan medan listrik yang diterapkan.

Beberapa model matematika empiris telah diusulkan untuk menggambarkan hubungan antara intensitas medan listrik dan inaktivasi mikroba. Medan listrik kritis E_c meningkat dengan potensi transmembran sel. Lebar pulsa juga mempengaruhi medan listrik kritis, misalnya dengan lebar pulsa lebih besar dari 50 mikrodetik, E_c adalah 4,9 kV/cm. Dengan pulsa yang lebarnya kurang dari 2 mikrodetik, E_c adalah 40 kV/cm (Schoenbach dkk, 1997).

2. Perlakuan waktu

Perlakuan waktu didefinisikan sebagai hasil dari jumlah pulsa dan durasi pulsa. Peningkatan dari salah satu variabel-variabel ini akan meningkatkan inaktivasi mikroba. Lebar pulsa berpengaruh terhadap pengurangan mikroba dengan mempengaruhi E_c . Lebih lebar lagi akan menurunkan E_c yang menghasilkan inaktivasi yang lebih tinggi. Namun, peningkatan durasi pulsa juga dapat mengakibatkan peningkatan suhu makanan yang tidak diinginkan. Kondisi pengolahan optimum harus dibentuk untuk memperoleh tingkat inaktivasi tertinggi dengan efek pemanasan terendah. Inaktivasi mikroorganisme meningkat dengan peningkatan waktu perlakuan.

Waktu perlakuan kritis juga tergantung pada intensitas medan listrik yang diterapkan. Di atas medan listrik kritis, waktu perlakuan kritis menurun dengan medan listrik tinggi.

3. Bentuk gelombang pulsa

Pulsa medan listrik dapat diterapkan dalam bentuk peluruhan eksponensial, gelombang persegi, gelombang osilasi, bipolar. Pulsa osilasi adalah yang paling efisien untuk inaktivasi mikroba, dan pulsa gelombang persegi yang

lebih efisien mematikan daripada pulsa peluruhan eksponensial. Pulsa bipolar lebih mematikan daripada pulsa monopolar karena PEF menyebabkan pergerakan molekul bermuatan dalam membran sel mikroorganisme. Dengan pulsa bipolar, perubahan bergantian dalam gerakan molekul bermuatan menyebabkan stres dalam membran sel dan meningkatkan kerusakan listriknya. Pulsa bipolar juga menawarkan keuntungan dari pemanfaatan energi minimum, mengurangi endapan padatan pada permukaan elektroda, dan penurunan elektrolisis makanan.

4. Temperatur

Hasil penelitian menunjukkan bahwa, baik suhu perlakuan dan suhu proses mempengaruhi kelangsungan hidup mikroba dan pemulihan. Dengan kekuatan medan listrik konstan, inaktivasi meningkat dengan peningkatan suhu.

Pengaruh suhu diamati ketika *E. coli* terjadi peningkatan pengurangan dari 1 sampai 6,5 log siklus penurunan dengan perubahan suhu 32-55°C. Hal ini mungkin disebabkan oleh peningkatan konduktivitas listrik dari larutan pada suhu yang lebih tinggi (Marquez dkk, 1997). Akibat suhu dinaikkan, terjadi peningkatan energi kinetik rata-rata dari ion, yang menyebabkan perubahan dalam membran sel fluiditas dan permeabilitas.

2.4.4 Aplikasi dari Teknologi PEF dalam Pengawetan Makanan

Sampai saat ini, PEF telah diterapkan untuk menjaga kualitas makanan seperti untuk meningkatkan masa kadaluarsa dari roti, susu, jus jeruk, telur, jus apel, dll (seafast.ipb.ac.id, 2014).

1. Pengolahan jus apel

Simpson dkk (1995) menyatakan bahwa jus apel yang diberi perlakuan dengan PEF 50 kV/cm, 10 pulsa, lebar pulsa 2 μ s dan suhu pengolahan maksimum 45°C telah memperpanjang masa kadaluarsa sampai 28 hari dibandingkan dengan jus apel yang segar yang hanya tahan sampai 21 hari.

Tidak ada perubahan fisik atau kimia asam askorbat atau gula dalam jus apel yang diberi perlakuan PEF serta tidak ditemukan perbedaan yang signifikan antara jus yang diberi perlakuan medan listrik dengan yang tidak diberi perlakuan.

2. Pengolahan jus jeruk

Sitzmann (1995) menyatakan bahwa terjadi pengurangan mikroba asli dari jus jeruk segar dengan siklus 3-log cycle yang diberi perlakuan medan listrik 15 kV/cm, serta secara signifikan tidak mempengaruhi kualitasnya.

3. Pengolahan susu

Dunn dan Pearlman (1987) melakukan uji coba terhadap susu yang telah diinokulasi dengan *Salmonella* dan diberi perlakuan 36,7 kV/cm, 40 pulsa selama 25 menit. Hasilnya *Salmonella* tidak terdeteksi setelah diberi perlakuan PEF atau setelah penyimpanan pada 7-9°C selama 8 hari. Populasi bakteri pada susu yang terjadi secara alami meningkat menjadi 10^7 cfu/ml dalam susu yang tidak diberi perlakuan PEF, sedangkan susu yang diberi perlakuan PEF menunjukkan sekitar 4×10^2 cfu/ml.

4. Pengolahan telur

Penelitian pada telur yang diperlakukan dengan PEF yang dilakukan oleh Qin dkk (1995) menunjukkan bahwa perlakuan PEF menurunkan viskositas tetapi

meningkatkan warna (dalam hal konsentrasi b-karoten). Akan tetapi telur ini lebih disukai.

5. Pengolahan sup kacang hijau

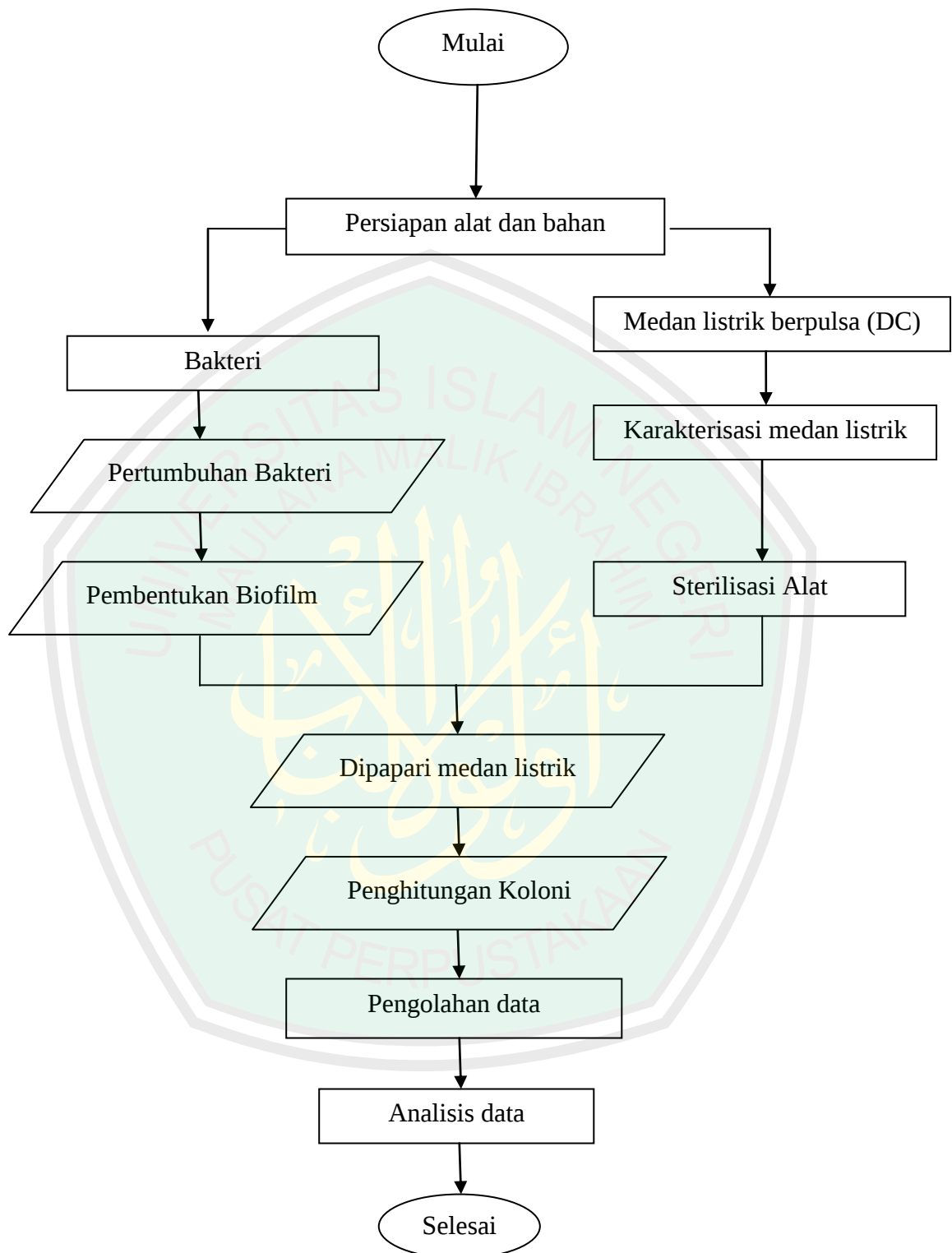
Pengolahan sup kacang hijau dilakukan oleh Vega-Mecardo dkk (1996) dengan 16 pulsa pada 35 kV/cm untuk mencegah terjadinya peningkatan suhu yang melebihi 55°C selama perlakuan. Hasilnya sup kacang hasil PEF yang disimpan dalam suhu pendingin bertahan melebihi 4 minggu serta tidak ada perubahan yang nyata baik secara fisik maupun kimia.



BAB III METODE PENELITIAN

3. 1 Jenis Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah di atas, penelitian ini menggunakan pendekatan eksperimen laboratorik, karena data yang diperlukan bersifat data yang diambil langsung dari objek penelitian. Dalam penelitian ini sampel yang digunakan adalah biofilm dari bakteri *Listeria monocytogenes* yang dipapari dengan medan listrik berpulsa sebesar 3 Kv/cm dan 3,5 kV/cm selama 15 menit, 20 menit, dan 25 menit serta suhu lingkungan sebesar 20°, 30°, 40°, dan 50° kuat medan listrik, waktu paparan dan suhu lingkungan terhadap bakteri *Listeria monocytogenes*. Adapun prosedur penelitian adalah sebagai berikut: sterilisasi alat dengan autoklaf, penyiapan media NA dan NB, peremajaan bakteri *Listeria monocytogenes*, kemudian pembuatan sampel dengan cara menumbuhkan bakteri pada media NB 50 ml dalam botol 100 ml dan lempeng kareter dimasukkan kedalam media pengkulturan tersebut, lempeng ini digunakan untuk substak pelekatan biofilm kemudian diinkubasi pada inkubator pada suhu ruang 37 °C selama 6 hari. Selanjutnya diberi perlakuan dengan pemaparan sinar laser. Setelah itu penghitungan bakteri yang membentuk bioflm, dari hasil perhitungan tersebut dilihat perbandingan antara bakteri yang terpapar sinar laser dan tidak terpapar kemudian dianalisis menggunakan uji statistic *two way anova*, yang bertujuan untuk mengetahui kuat medan listrik berpulsa, waktu paparan dan suhu lingkungan yang paling efektif untuk penonaktifan *Listeria monocytogenes*. Untuk prosedur penelitian lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 3.1



Gambar 3.1 Diagram alir penelitian

3.2 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Termodinamika Jurusan Fisika dan Laboratorium Mikrobiologi Jurusan Biologi Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang. Sedangkan waktu penelitian di mulai pada tanggal 5 Mei s/d 08 Juli 2015.

3.3 Alat dan Bahan Penelitian

3.1.1 Alat-alat yang digunakan

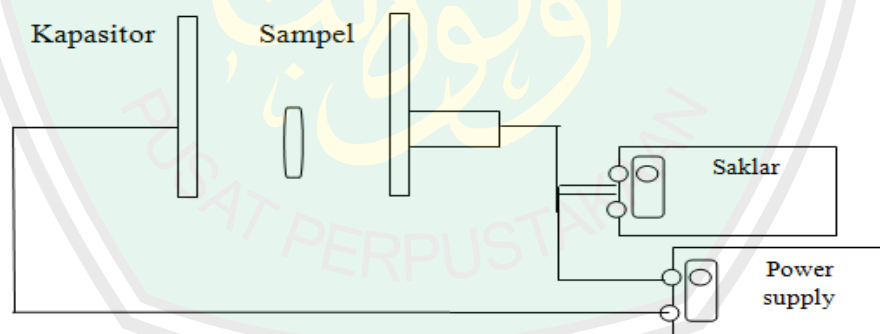
1. Power Suplly
2. Set medan listrik 1 unit
3. Erlenmeyer 250 ml 4 buah
4. Tabung reaksi 10 buah
5. Rak tabung reaksi 1 buah
6. LAF (Laminar Air Flow) 1 unit
7. Bunsen 1 buah
8. Kapas 1 pack
9. Tisu 1 pack
10. Botol Media 16 buah
11. Autoklaf 1 buah
12. Oven 1 buah
13. Cawan petri 36 buah
14. Kompor gas 1 buah
15. Pengaduk kaca 1 buah
16. Inkubator 1 buah
17. Plastik wrap 1 pack

18. Gelas ukur 50 ml 1 buah
19. Spertus
20. Korek api
21. Botol semprot 1 buah
22. Beaker glas 500 ml buah
23. Plastik bungkus 2 pack
24. Colony counter

3.3.2 Bahan-bahan yang digunakan

1. Bakteri *Pseudomonas Aeruginosa*
2. Media NA (*Nutrien Agar*)
3. Media NB (*Nutrien Borth*)
4. Lempeng kateter pembentuk Biofilm

3.4 Desain Rangkaian Alat



Gambar 3.2 Rangkaian Percobaan sebagai perlakuan pada Bakteri *Listeria monocytogenes*

3.5 Penyiapan Bakteri *Listeria monocytogenes*

1. Peremajaan atau pertumbuhan bakteri *Listeria monocytogenes* dilakukan dengan cara sebagai berikut:
 - a. Bakteri secara aseptik diinokulasikan dengan jarum inokulasi lurus pada permukaan medium miring dengan arah zigzag dari bawah ke atas.

- b. Biakan tersebut diinkubasi dalam inkubator pada suhu 37° C selama 24 jam.

2. Pembentukan Biofilm bakteri *Listeria monocytogenes*

- a. Kateter dicuci dengan deterjen lalu disterilkan dengan dengan autoklaf selama 15 menit, dengan tekanan 1 atm, suhu 121 °C. Kateter ini digunakan untuk pembentukan biofilm.
- b. Bakteri dan kateter dimasukkan ke dalam media NB cair 50 ml yang sudah steril.
- c. Biofilm ditunggu selama periode waktu 6 hari.

3.6 Prosedur Penelitian

3.6.1 Reparasi Sampel

Adapun langkah-langkah yang dilakukan adalah:

1. Sterilisasi

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

2. Penyediaan Media NA

- a. Media NA ditimbang sebanyak 1 gram.
- b. Ditambahkan sebanyak 50 ml aquades dan di panaskan sampai homogen.

- c. Media dimasukkan kedalam tabung reaksi (10 buah), kemudian di sterilisasi dalam autoklaf. Setelah selesai sterilisasi media NA dimiringkan.

3. Medium Cair Nutrient Broth (NB)

Media ini digunakan untuk pembiakan murni bakteri yang akan diinokulasi pada medium lempeng. Adapun caranya adalah sebagai berikut:

- a. Menyiapkan bahan-bahan untuk medium yaitu dengan menimbang media NB kemudian dilarutkan dengan aquades dalam erlenmeyer.
- b. Erlenmeyer ditutup dengan alumunium foil kemudian dipanaskan diatas hot plat hingga homogen, kemudian disterilkan ke dalam autoklaf pada suhu 121°C selama 15 menit.
- c. Media NB yang akan digunakan, dituang ke dalam botol berukuran 100 ml sebanyak 50 ml kemudian ditutup dengan kapas dan alumunium foil.

3.6.2 Teknik Pengambilan Data

1. Mempersiapkan alat dan bahan yang akan digunakan.
2. Diambil satu media NB yang sudah dibiakkan bakteri, kemudian lempeng kareter di masukkan ke dalam botol yang berisi bakteri sehingga membentuk biofilm.
3. Bakteri yang membentuk biofilm di beri paparan medan listrik, dengan kuat medan 3 kV/cm dan 3,5 kV/cm selama 15 menit, 20 menit, 25 menit serta suhu lingkungan 20° , 30° , 40° , dan 50° .

4. Diambil lempeng kareter dari kultur dengan menggunakan pinset steril, dibilas sebanyak 3 kali dengan akuades steril hingga sel planktonik terlepas.
5. Lempeng dimasukkan ke dalam 10 ml NaCl 0,9% pada botol kemudian di vorteks selama 1 menit untuk melepas sel biofilm.
6. Pengenceran dilakukan dengan mengambil sebanyak 0.1 ml kultur kemudian di sebar pada media NA, lalu di inkubasi selama 24 jam pada suhu 37° C.
7. Perlakuan untuk paparan medan listrik diulangi sebanyak 3 kali pada sampel yang berbeda dengan kuat medan, waktu dan suhu yang sama.
8. Diulang langkah 2-6 dengan kuat medan listrik, waktu dan suhu yang berbeda, kemudian di hitung koloni sebagai data akhir.

3.6.3. Penghitungan Koloni Bakteri

a) Persiapan Alat dan Sterilisasi

1. Disiapkan cawan petri dan botol flakon 15 ml yang akan di sterilkan.
2. Di masukkan ke dalam autoklaf

b) Dilusi (Pengenceran)

1. Suspensi dalam tabung reaksi dihomogenkan dengan vortex mixer.
2. Diambil 1 ml suspensi dari tabung reaksi yang sudah dipapari medan listrik berpulsa maupun sebagai kontrol dan dimasukkan 1 suspensi kedalam botol steril yang berisi 9 ml aquades dan diberi tanda 10^{-1} .
3. Mengambil kembali 1 ml dari suspensi 10^{-1} yang sudah dihomogenkan kemudian dimasukkan kedalam botol yang berisi 9 ml aquades sebagai pengenceran 10^{-2} .

- kedalam cawan petri steril dan selanjutnya dituangkan media agar kemudian di homogenkan sebagai media untuk hidup.
7. Semua proses diatas dilakukan secara aseptis, yaitu di dekat api bunsen.
 8. Setelah media membeku, dimasukkan dalam inkubator dengan posisi terbalik (bagian tutup berada di bawah).
 9. Bakteri di inkubasi 24 jam dengan suhu 37° C.
 10. Kemudian di hitung koloninya. Koloni yang sudah di hitung ditandai dengan spidol untuk menghindari penghitungan ulang.
- ### 3.7 Teknik Pengumpulan Data
- Data yang telah di peroleh kemudian diolah, berupa hasil perhitungan jumlah bakteri *Listeria monocytogenes* setelah diberi paparan medan listrik. Kemudian dicatat pada tabel 3.1
- Tabel 3.1 Pengolahan data jumlah bakteri

kedalam cawan petri steril dan selanjutnya dituangkan media agar kemudian di homogenkan sebagai media untuk hidup.

7. Semua proses diatas dilakukan secara aseptis, yaitu di dekat api bunsen.
8. Setelah media membeku, dimasukkan dalam inkubator dengan posisi terbalik (bagian tutup berada di bawah).
9. Bakteri di inkubasi 24 jam dengan suhu 37° C.
10. Kemudian di hitung koloninya. Koloni yang sudah di hitung ditandai dengan spidol untuk menghindari penghitungan ulang.

3.7 Teknik Pengumpulan Data

Data yang telah di peroleh kemudian diolah, berupa hasil perhitungan jumlah bakteri *Listeria monocytogenes* setelah diberi paparan medan listrik. Kemudian dicatat pada tabel 3.1

Tabel 3.1 Pengolahan data jumlah bakteri

kedalam cawan petri steril dan selanjutnya dituangkan media agar kemudian di homogenkan sebagai media untuk hidup.

7. Semua proses diatas dilakukan secara aseptis, yaitu di dekat api bunsen.
8. Setelah media membeku, dimasukkan dalam inkubator dengan posisi terbalik (bagian tutup berada di bawah).
9. Bakteri di inkubasi 24 jam dengan suhu 37° C.
10. Kemudian di hitung koloninya. Koloni yang sudah di hitung ditandai dengan spidol untuk menghindari penghitungan ulang.

3.7 Teknik Pengumpulan Data

Data yang telah di peroleh kemudian diolah, berupa hasil perhitungan jumlah bakteri *Listeria monocytogenes* setelah diberi paparan medan listrik. Kemudian dicatat pada tabel 3.1

Tabel 3.1 Pengolahan data jumlah bakteri

kedalam cawan petri steril dan selanjutnya dituangkan media agar kemudian di homogenkan sebagai media untuk hidup.

7. Semua proses diatas dilakukan secara aseptis, yaitu di dekat api bunsen.
8. Setelah media membeku, dimasukkan dalam inkubator dengan posisi terbalik (bagian tutup berada di bawah).
9. Bakteri di inkubasi 24 jam dengan suhu 37° C.
10. Kemudian di hitung koloninya. Koloni yang sudah di hitung ditandai dengan spidol untuk menghindari penghitungan ulang.

3.7 Teknik Pengumpulan Data

Data yang telah di peroleh kemudian diolah, berupa hasil perhitungan jumlah bakteri *Listeria monocytogenes* setelah diberi paparan medan listrik. Kemudian dicatat pada tabel 3.1

Tabel 3.1 Pengolahan data jumlah bakteri

[illegible]

	25												
3,5	15												
	20												
	25												

3.7 Teknik Analisis Data

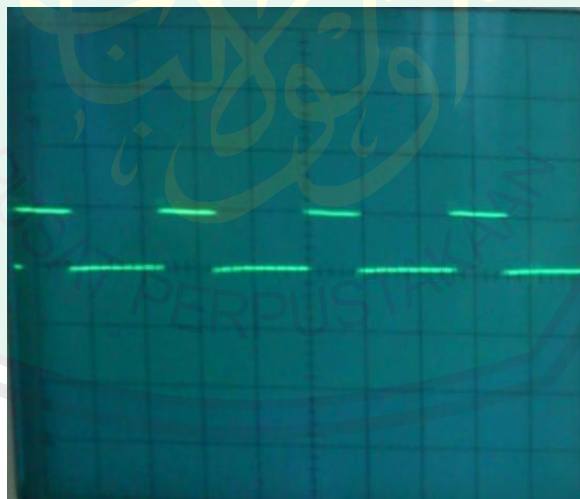
Analisis deskriptif, dihitung jumlah bakteri *Listeria monocytogenes* setelah diberi paparan medan listrik. Jumlah bakteri yang hidup tersebut dibandingkan dengan jumlah bakteri pada kontrol (tanpa papara medan listrik). Kemudian data yang diperoleh tersebut akan disajikan dalam bentuk grafik dan juga dianalisis dengan metode Anova (*Analysis of Variance*) yang bertujuan untuk membedakan antar variasi kuat medan listrik, waktu, dan suhu sehingga dapat diketahui intensitas medan listrik dan waktu paparan yang paling efektif dalam penonaktifan bakteri *Listeria monocytogenes*.

BAB IV

DATA HASIL DAN PEMBAHASAN

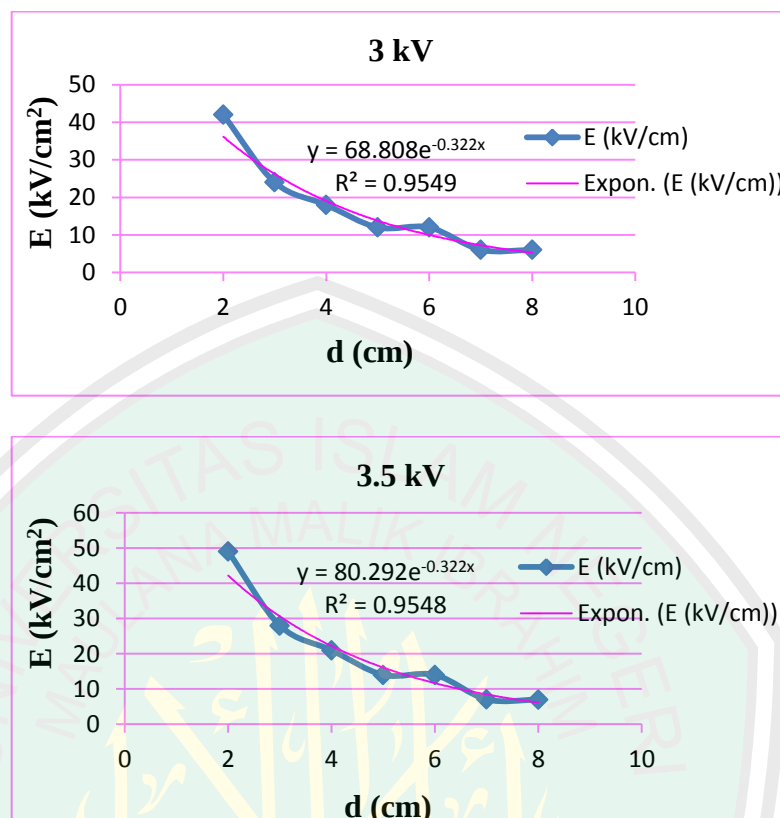
4.1 Data Hasil Penelitian

Penelitian tentang “Optimasi Medan Listrik Berpulsa untuk Menghambat Pertumbuhan Biofilm *Listeria monocytogenes*” ini terdiri dari beberapa tahap. Tahap pertama adalah pengujian medan listrik. Pada penelitian ini medan listrik berasal dari power supply 10 kV yang disambungkan pada saklar kemudian dihubungkan keplat sejajar. Digunakan osiloskop untuk menampilkan bentuk gelombang yang dihasilkan. Frekuensi yang digunakan pada saklar yaitu 100 Hz dengan bentuk pulsanya gelombang persegi, bentuk pulsa ditunjukkan pada gambar 4.1.



Gambar 4.1 Bentuk Pulsa Persegi

Pengukuran medan listrik dilakukan dengan mengubah jarak diantara dua plat sejajar yang diantara keduanya udara bebas. Hasilnya, diketahui bahwa semakin bertambah jarak antara kedua plat sejajar, maka medan listrik yang dihasilkan semakin kecil. Seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.2.



Gambar 4.2 Grafik Hubungan Antara Medan Listrik dan Jarak

Tahap yang kedua yaitu sterilisasi alat, semua alat-alat yang akan digunakan dalam penelitian ini terlebih dahulu disterilisasi agar tidak terkontaminasi dengan bakteri-bakteri lainnya, kemudian penyiapan media NA dan NB, kedua media ini juga disterilisasi terlebih dahulu. Tahap yang ketiga yaitu pembuatan sampel biofilm, biofilm tersebut dibuat dari isolat bakteri murni yang diperoleh dari Fakultas Kedokteran Universitas Brawijaya, kemudian dibiakkan di media NB dan dimasukkan lempeng kateter berukuran 1 cm^2 , diinkubasi selama 6 hari dengan suhu 37°C . Biofilm yang didapat kemudian dipapari dengan medan listrik sebesar 3 kV/cm dan $3,5 \text{ kV/cm}$ selama 15 menit, 20 menit, dan 25 menit serta suhu lingkungan sebesar 20° , 30° , 40° , dan 50° celcius . Suhu lingkungan diperoleh dari hot plate yang diletakkan dibawah alat medan listrik dan disekitarnya ditutup

dengan aluminium foil agar suhunya tetap stabil sesuai dengan suhu yang diharapkan. Setelah biofilm tersebut dipapari dengan kuat medan, suhu dan lama waktu yang ditentukan, langkah selanjutnya adalah melakukan proses pengenceran di ruang LAF. Pengenceran dilakukan sampai 10^{-8} , kemudian pada pengenceran terakhir diambil 0,1 ml suspensi menggunakan mikropipet dan dimasukkan ke dalam cawan petri, selanjutnya dituangkan media NA cair sebagai media tumbuh bakteri, dan diinkubasi selama 24 jam dengan suhu 37°C . Proses selanjutnya yaitu menghitung jumlah koloni bakteri dengan menggunakan *colony counter* sekaligus dicatat jumlah bakterinya. Untuk mengetahui jumlah koloni bakteri *Listeria monocytogenes* dapat dihitung dengan menggunakan persamaan:

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

Berikut adalah data jumlah koloni bakteri *Listeria monocytogenes* yang terpapar medan listrik berpulsa dalam selang waktu, dan variasi suhu berdasarkan hasil penelitian,

Tabel 4.1 Data hasil rata-rata jumlah koloni bakteri *Listeria monocytogenes* yang terpapar medan listrik berpulsa

E (kV/cm)	Waktu (menit)	Jumlah Bakteri (CFU/ml)				Kontrol
		20°	30°	40°	50°	
3	15	17.6×10^8	12×10^8	9×10^8	5.5×10^8	23.7×10^8
	20	12.9×10^8	9.3×10^8	8.2×10^8	3.8×10^8	
	25	9.8×10^8	7.2×10^8	6.6×10^8	3.6×10^8	
3.5	15	8.2×10^8	5.8×10^8	4.1×10^8	2.5×10^8	
	20	7.3×10^8	3.1×10^8	2.1×10^8	1.2×10^8	
	25	3×10^8	1.2×10^8	0.7×10^8	0.2×10^8	

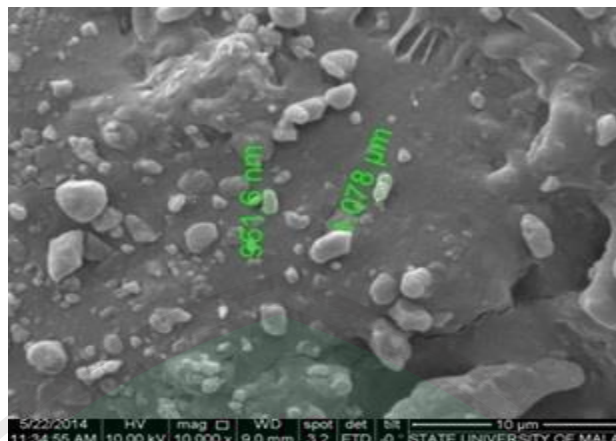
Berdasarkan pada tabel 4.1 di atas, diketahui bahwa paparan medan listrik berpulsa dapat menurunkan jumlah koloni bakteri *Listeria monocytogenes*. Jumlah rata-rata koloni bakteri sebelum dipapari medan listrik berpulsa adalah sebesar 23.7×10^8 CFU/ml. Setelah dipapari medan listrik berpulsa sebesar 3 kV/cm dalam waktu 15 menit dan pada suhu lingkungan 20°C , jumlah koloni bakteri yang masih hidup adalah 17.6×10^8 CFU/ml. Ketika kuat medan listrik ditingkatkan menjadi 3,5 kV/cm dan waktu paparannya diubah menjadi lebih lama yaitu selama 25 menit serta pada suhu lingkungan sebesar 50°C , maka jumlah koloni bakteri yang masih hidup adalah 0.2×10^8 CFU/ml. Hal ini menunjukkan bahwa semakin besar kuat medan listrik dan waktu paparannya, maka jumlah mikroba yang hidup akan semakin berkurang.

4.2 Analisis Data

Hasil penelitian dianalisis dengan analisa mikro (SEM), analisis deskriptif dan uji ANOVA. Output hasil analisis data dapat dilihat di bawah ini.

4.2.1 Analisis Scanning Electron Microscope (SEM)

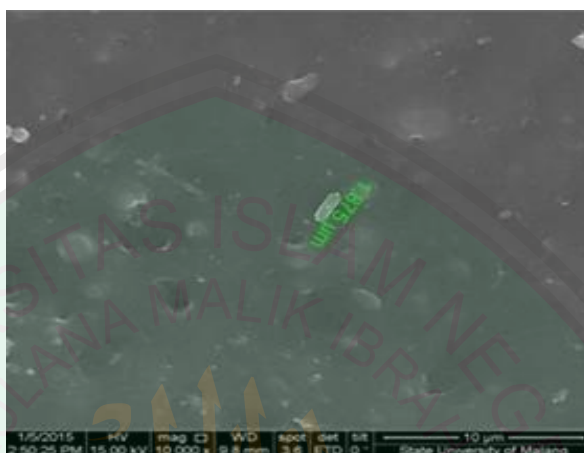
Pengujian biofilm dengan Scanning Electron Microscope (SEM) di laboratorium bersama Fakultas Matematika dan IPA jurusan Fisika Universitas Negeri Malang. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui pertumbuhan bakteri *Listeria monocytogenes* pada biofilm sebelum dipapari medan listrik berpulsa dan sesudah di papari medan listrik berpulsa. Adapun hasil dari Uji SEM dari bakteri *Listeria monocytogenes* sebelum di papari medan listrik berpulsa di tunjukkan pada gambar 4.3.



Gambar 4.3 Citra SEM biofilm *Listeria monocytogenes* sebelum dipapari medan listrik berpulsa yang diinkubasi selama 6 hari dengan perbesaran 10000 kali

Gambar 4.3 menunjukkan bahwa jumlah bakteri *Listeria monocytogenes* yang menempel semakin bertambah akan tetapi ukurannya lebih kecil yaitu berkisar 1,078 μm . hal ini terjadi karena keterbatasan nutrisi pada media. Terbatasnya nutrisi mengharuskan bakteri menyesuaikan diri dalam memperoleh sumber energi. Bakteri akan memproduksi kelompok senyawa polisakarida yaitu substansi polimerik ekstraseluler (EPS) untuk perlekatan sel pada permukaan. Selanjutnya terjadi penambahan secara terus produksi substansi polimerik ekstraseluler (EPS). Bakteri akan melakukan pembelahan (reproduksi) guna memperbanyak jumlah dan mempertebal komposisi biofilm, kemudian beberapa bakteri akan melakukan perpindahan untuk membentuk biofilm yang baru, sehingga lama-kelamaan jumlah biofilm akan semakin banyak. Semakin lama waktu yang digunakan dalam proses pembentukan biofilm, nutrisi yang terdapat dalam media juga semakin sedikit sehingga bakteri tidak dapat meneruskan pertumbuhannya. Akibatnya, bakteri harus menyesuaikan diri dalam memperoleh sumber energinya. Hal ini mengakibatkan sel bakteri ukurannya menjadi kecil.

Adapun hasil pengujian menggunakan SEM pada biofilm bakteri *Listeria monocytogenes* setelah dipapar medan listrik berpulsa seperti ditunjukkan pada gambar 4.4.

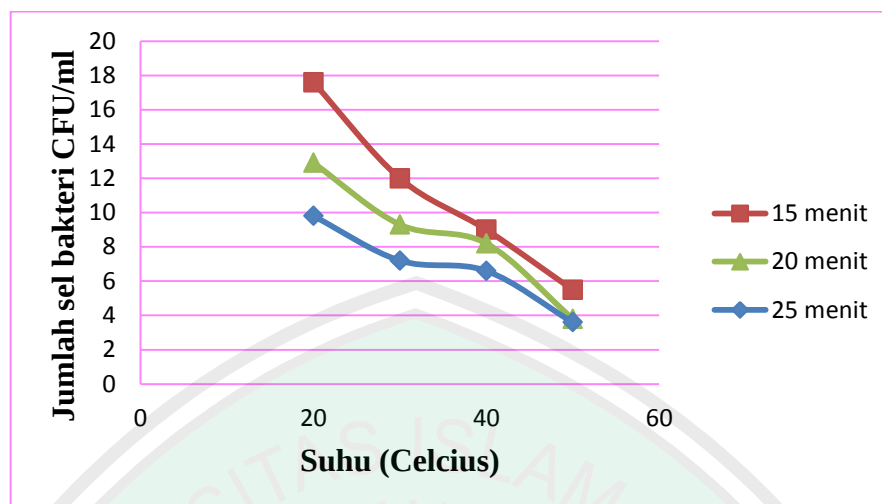


Gambar 4.4 Uji SEM biofilm bakteri *Listeria monocytogenes* setelah dipapar medan listrik berpulsa dengan skala perbesaran 10.000 kali

Hasil pengujian SEM pada gambar 4.4 menunjukkan bahwa setelah dipapari medan listrik, ukuran bakteri menjadi lebih besar berkisar 1,875 μm karena diakibatkan oleh masuknya molekul-molekul kedalam membran sel bakteri. Semakin banyak molekul yang masuk, maka membran sel bakteri akan semakin membengkak dan rusak dengan ditandai bentuk permukaan selnya yang tidak rata dan pecah.

4.2.2 Analisis Deskriptif

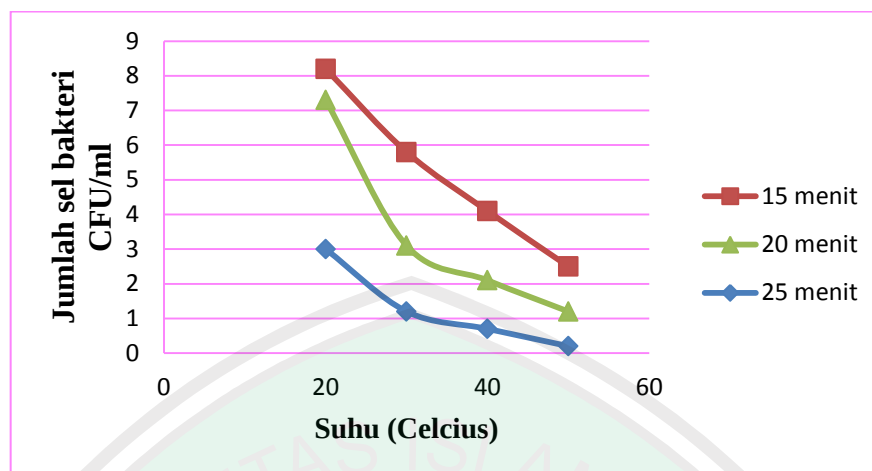
Dari hasil pengambilan data pengaruh kuat medan listrik dengan variasi waktu pemaparan dan variasi suhu lingkungan, didapatkan hubungan antara kuat medan listrik berpulsa 3 kV/cm, lama pemaparan dan suhu lingkungan dengan jumlah koloni bakteri *Listeria monocytogenes* yang ditunjukkan pada gambar 4.1.



Gambar 4.5 Grafik paparan medan listrik berpulsa 3 kV/cm terhadap biofilm dengan variasi lama paparan dan suhu lingkungan.

Dari gambar 4.5 diatas dapat dilihat bahwa paparan medan listrik berpulsa dengan waktu yang lama dan suhu lingkungan yang semakin tinggi akan menghambat pertumbuhan bakteri *Listeria monocytogenes*, seperti yang digambarkan diatas pada medan listrik sebesar 3 kV/cm, waktu paparan 20 menit dan suhu 50 °C jumlah bakteri yang masih hidup adalah 3.6×10^8 CFU/ml. Hal ini dikarenakan nilai absorbans bakteri lebih tinggi sehingga mengakibatkan membran sel bakteri akan semakin rusak dan menyebabkan banyak isi sel yang keluar. Akan tetapi jika dilihat pada suhu antara 30° sampai 40° grafik penurunannya tidak terlalu besar, hal ini terjadi karena pada suhu tersebut bakteri masih dapat berkembang biak dengan baik.

Paparan medan listrik berpulsa sebesar 3,5 kV/cm dengan variasi lama paparan dengan variasi suhu, didapatkan hubungan antara lama paparan dan suhu lingkungan dengan jumlah koloni bakteri *Listeria monocytogenes* yang ditunjukkan pada gambar 4.6.



Gambar 4.6 Grafik pengaruh kuat medan listrik berpulsa 3,5 kV/cm terhadap biofilm dengan variasi lama paparan dan suhu lingkungan

Gambar 4.6 menunjukkan bahwa paparan medan listrik berpulsa sebesar 3.5 kV/cm dengan variasi waktu paparan dan variasi suhu lingkungan dapat menyebabkan kematian pada bakteri, yaitu pada waktu 25 menit dan suhu 50 °C bakteri yang hidup adalah 0.2×10^8 CFU/ml. Dari masing-masing perlakuan terdapat pengaruh yang signifikan. Grafik diatas menunjukkan nilai yang paling efektif untuk menonaktifkan bakteri yaitu dengan kuat medan listrik berpulsa 3.5 kV/cm, waktu paparan 25 menit dan suhu lingkungan sebesar 50 °C.

4.2.3 Analisis Uji Two Way Anova

Dari data hasil pengamatan diatas dapat dilakukan uji *Analysis of Variance* (ANOVA) untuk mengetahui efek dari paparan medan listrik berpulsa terhadap bakteri *Listeria monocytogenes* dengan variasi lama paparan 15 menit, 20 menit, 25 menit dan suhu lingkungan 20°, 30°, 40°, 50°. Berdasarkan uji statistik *Two Way Anova* didapatkan hasil sebagai berikut.

Tabel 4.2 Uji Statistik *Two Way Anova* ketika diberi medan listrik berpulsa

Source	Type III Sum of Squares	Df	Mean Square	F	Sig.
Model	1351.363(a)	25	58.055	332.480	.000
Kuat Medan Listrik	116.874	4	51.423	119.870	.000
Waktu	19.754	4	8.438	13.965	.000
Suhu	95.557	5	24.657	69.234	.000
Kuat medan listrik * Waktu*Suhu	25.762	4	10.360	.362	.036
Error	8.731	50	.175		
Total	1460.094	75			

Dari hasil uji *Two Way ANOVA* pada table 4.2 pada bakteri *Listeria monocytogenes* setelah dipapari medan listrik berpulsa, diperoleh nilai yang signifikan (*p-value*) pada variable kuat medan listrik, waktu dan suhu yaitu $p = 0.00 < \alpha (0.05)$, hal tersebut menunjukkan bahwa H_0 ditolak. Maka dari itu, dapat disimpulkan bahwa paparan medan listrik berpulsa, waktu dan suhu lingkungan berpengaruh dalam menghambat pertumbuhan bakteri yang membentuk biofilm. Sedangkan interaksi kuat medan listrik, waktu dan suhu lingkungan yaitu $p = 0.036 < \alpha (0.05)$, hal tersebut menunjukkan bahwa H_0 ditolak. Maka dari itu, dapat disimpulkan interaksi antara kuat medan listrik berpulsa, waktu paparan dan suhu lingkungan berpengaruh dalam menghambat pertumbuhan bakteri *Listeria monocytogenes* yang membentuk biofilm. Setelah itu, akan dilakukan uji statistic *post hoc test* untuk mengetahui perbedaan rata-rata antar variasi.

4.2.4 Analisis Uji *Post Hoc* Duncan

Langkah selanjutnya adalah mengolah data menggunakan uji *Post Hoc Test* terhadap pertumbuhan Bakteri yang membentuk sel Biofilm antar masing-masing variasi. Hasil uji *Post Hoc Test* seperti yang ditunjukkan pada tabel di bawah ini.

1. Analisis Uji *Post Hoc* Duncan dengan Variasi Kuat Medan Listrik Berpulsa

Pada uji statistik ini yaitu untuk mengetahui perbedaan rata-rata antara masing-masing variasi. Hasil uji *Post Hoc Duncan* seperti yang ditunjukkan pada tabel di bawah ini.

1. Analisis Uji *Post hoc* Duncan dengan Variasi Kuat Medan Listrik Berpulsa

Tabel 4.3 Uji *Post hoc* Duncan dengan variasi Kuat Medan Listrik Berpulsa

E	N	Subset	
		1	2
3.50	12	2.8118	
3.00	12		3.8512
Sig.		1.000	1.000

Tabel 4.3 di atas merupakan hasil dari uji *Post hoc* Duncan yang menunjukkan bahwa medan listrik berpulsa memiliki pengaruh terhadap pertumbuhan bakteri *Listeria monocytogenes*. Untuk setiap variasi tersebut memiliki perbedaan yang signifikan. Pada tabel ditunjukkan bahwa kuat medan listrik berpulsa yang paling efektif adalah 3.5 kV/cm, dengan nilai subsetnya sebesar 2.8118. Hal ini menunjukkan bahwa semakin besar medan listrik maka hasilnya akan semakin baik. Hasil penelitian menunjukkan bahwa medan listrik berpulsa sebesar 3.5 kV/cm berpengaruh dalam menghambat pertumbuhan bakteri *Listeria monocytogenes*, dan sebaliknya jika medan listrik berpulsa semakin kecil maka hasilnya juga tidak maksimal.

2. Analisis Uji *Post hoc Duncan* dengan Variasi Waktu

Table 4.4 Uji *Post hoc Duncan* dengan variasi waktu

Waktu	N	Subset		
		1	2	3
25.00	9	1.8037		
20.00	9		3.1605	
15.00	9			7.4513
Sig.		1.000	1.000	1.000

Tabel 4.4 di atas merupakan hasil uji *Post hoc Duncan* yang menunjukkan bahwa waktu paparan memiliki pengaruh terhadap bakteri *Listeria monocytogenes*. Untuk setiap variasi waktu paparan terdapat di subset berbeda sehingga ketiga variasi tersebut memiliki perbedaan yang signifikan. Hasil tabel menunjukkan bahwa waktu paparan yang paling efektif adalah 25 menit, dengan nilai subsetnya sebesar 1.8037. Hal ini menunjukkan bahwa semakin lama waktu paparan, maka hasilnya akan semakin maksimal.

3. Analisis Uji *Post hoc Duncan* dengan Variasi Suhu Lingkungan

Table 4.5 Uji *Post hoc Duncan* dengan variasi suhu lingkungan

Waktu	N	Subset			
		1	2	3	4
50	9	1.6574			
40	9		3.6755		
30	9			6.7654	
20	9				9.8246
Sig.		1.000	1.000	1.000	1.000

Table 4.5 di atas merupakan hasil uji *Post hoc Duncan* yang menunjukkan suhu lingkungan memiliki pengaruh terhadap bakteri *Listeria monocytogenes*. Untuk setiap variasi suhu lingkungan terdapat pada subset berbeda, sehingga keempat variasi tersebut memiliki perbedaan yang signifikan. Hasil tabel menunjukkan bahwa suhu lingkungan yang paling efektif untuk menghambat

pertumbuhan bakteri *Listeria monocytogenes* adalah suhu 50 °C, dengan nilai subsetnya sebesar 1.6574. Hal ini menunjukkan bahwa suhu lingkungan sebesar 50 °C berpengaruh terhadap pertumbuhan bakteri *Listeria monocytogenes*, dan begitu juga sebaliknya semakin rendah suhu lingkungan, maka hasilnya yang diperoleh tidak maksimal.

4.3 Pembahasan

Medan listrik merupakan daerah atau ruang di sekitar benda yang bermuatan listrik dan apabila sebuah benda bermuatan lainnya diletakkan pada daerah itu masih mengalami gaya listrik. Jika muatan lain berada di dalam medan listrik dari sebuah benda bermuatan listrik, muatan tersebut akan mengalami gaya listrik berupa gaya tarik atau gaya tolak bergantung dari jenis muatannya.

Untuk mengetahui besarnya kuat medan listrik, salah satunya dapat dilakukan dengan pengukuran kuat medan listrik yaitu dengan cara merubah jarak antar plat kapasitor yaitu dari 2 cm sampai 8 cm dengan merubah tegangan masukan. Pengukuran awal dilakukan dengan membiarkan udara bebas berada diantara kedua plat kapasitor sejajar. Hasil yang diperoleh yaitu semakin bertambahnya jarak antara kedua plat kapasitor, maka semakin kecil medan listriknya. Hal ini dikarenakan apabila jarak antar plat semakin jauh, maka gaya listrik yang dihasilkan antara kedua plat semakin berkurang, sehingga menyebabkan penurunan kuat medan listrik. Seperti yang terdapat dalam Hukum Coulomb bahwa penurunan kuat medan listrik akibat pertambahan jarak disebabkan karena kuat medan listrik itu berbanding terbalik dengan kuadrat jaraknya yang memenuhi persamaan $\vec{E} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q}{r^2}$ (Giancoli, 2001). Sedangkan

untuk penambahan tegangan yang digunakan, apabila tegangannya semakin besar maka medan listriknya juga akan semakin besar, karena tegangan listrik berbanding lurus dengan medan listrik.

Pengukuran kuat medan listrik juga dapat dilakukan dengan meletakkan sampel berupa kateter dengan ukuran 1x1 cm diantara kedua plat sejajar. Hasilnya menunjukkan bahwa terjadi penurunan medan listrik setelah diletakkannya kateter diantara kedua plat. Ketika kateter berada dalam medan listrik, maka muatan listrik positif dan negatif yang berada didalam kateter akan sedikit bergeser dari posisi kesetimbangannya atau terpolarisasi. Karena terpolarisasi, maka muatan positif bahan dielektrik akan berhadapan dengan plat kapasitor yang bermuatan negatif dan sebaliknya muatan negatif dari bahan dielektrik akan berhadapan dengan plat kapasitor yang bermuatan positif. Hal ini menimbulkan medan listrik internal yang menyebabkan turunnya medan listrik secara keseluruhan. Kuat medan listrik diantara plat sejajar apabila medium diantaranya ruang hampa memenuhi persamaan $E = \frac{Q}{A \epsilon_0}$. Sedangkan apabila medium diantara plat sejajar diberi kateter maka persamaannya menjadi $E = \frac{Q}{A k \epsilon_0}$.

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

Pada penelitian ini biofilm yang digunakan adalah biofilm yang terbentuk selama 6 hari, kemudian dipapari medan listrik berpulsa sebesar 3 kV/cm dan 3.5 kV/cm, waktu paparan 15 menit, 20 menit dan 25 menit dalam suhu lingkungan sebesar 20°, 30°, 40° dan 50°.

Data pada tabel 4.1 menunjukkan bahwa paparan medan listrik dalam waktu dan suhu tertentu menyebabkan penurunan jumlah bakteri *Listeria monocytogenes*. Dari data yang diperoleh jumlah rata-rata bakteri sebelum dipapari medan listrik dan cahaya ungu sebanyak $23,7 \times 10^8$ CFU/ml dan setelah dipapari medan listrik dan cahaya ungu dengan kuat medan listrik 3,5kV/cm selama 25 menit dengan suhu lingkungan 50° celcius, jumlah rata-rata bakteri menjadi $0,2 \times 10^8$ CFU/ml dan persentase kematian bakteri *Listeria monocytogenes* tersebut sebesar 98.73%. Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin besar kuat medan listrik, waktu paparan dan suhu lingkungan yang diberikan, maka jumlah bakteri yang hidup akan semakin berkurang.

Terhambatnya pertumbuhan bakteri ini disebabkan karena dinding membran sel (*lipoprotein*) bakteri rusak. Ketika bakteri *Listeria monocytogenes* dipapari medan listrik berpulsa akan terjadi peningkatan energi kemudian menyebabkan membran sel berlubang. Lubang ini disebabkan karena adanya pergeseran muatan pada atom atau molekul, dimana yang bermuatan positif akan bergeser ke arah elektroda negatif dan yang bermuatan negatif akan bergeser ke elektroda positif sehingga muatan positif dan negatif menjadi terpisah. Pergeseran muatan ini menyebabkan penipisan pada membran sel kemudian menyebabkan membran sel akan berlubang dan mengalami kerusakan.

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

Menurut hasil uji statistik *Duncan* pada variasi kuat medan listrik, diperoleh hasil bahwa kuat medan listrik terbaik yaitu sebesar 3,50 kV/cm dengan hasil 2,8118. Tegangan listrik adalah salah satu faktor utama yang mempengaruhi dalam menonaktifkan mikroba. Tegangan listrik berbanding lurus dengan medan listrik *E*. Apabila medan listriknya meningkat, maka penonaktifan bakteri juga semakin meningkat. Medan listrik yang diberikan pada dielektrik, dalam hal ini bakteri, yang melebihi ambang batas kekuatan dari bahan dielektrik, akan mengakibatkan kerusakan pada dielektrik tersebut.

Medan listrik ini memberi gaya kepada elektron-elektron agar terlepas dari ikatannya. Dengan kata lain, medan listrik merupakan suatu beban yang menekan dielektrik agar berubah sifat menjadi konduktor. Setiap dielektrik mempunyai batas kekuatan untuk memikul terpaan dielektrik. Jika terpaan dielektrik yang dipikulnya melebihi batas tersebut dan terpaan berlangsung cukup lama, maka dielektrik akan menghantar arus atau gagal melaksanakan fungsinya sebagai isolator. Dalam hal ini dielektrik disebut tembus listrik atau “*breakdown*” (Giancoli, 2001). Hal inilah yang menyebabkan kerusakan dari sel bakteri.

Disamping memberikan kejutan listrik atau paparan medan listrik berpulsa, lama pemaparan juga termasuk dalam faktor yang penting dalam proses ini. Menurut hasil uji statistik Duncan pada variasi waktu paparan, diperoleh hasil bahwa waktu paparan terbaik yaitu selama 25 menit dengan hasil 1,8037. Semakin lama waktu paparan, maka jumlah pulsa yang dikeluarkan akan semakin banyak. Lamanya medan listrik yang mengenai bakteri akan mempengaruhi tingkat kerusakan dari membran sel bakteri. Hal ini dinyatakan juga oleh Gabriel and Teissie (1995); Macek-Lebar dan Miklavcic (2001) bahwa peningkatan jumlah pulsa, akan mempengaruhi kelangsungan hidup (*viabilitas*) sel. Peningkatan jumlah pulsa tidak mempengaruhi daerah elektroporasi membran, tetapi meningkatkan tingkat elektroporasi (Rols, 2006)

Faktor lain yang berpengaruh dalam menonaktifkan bakteri *Listeria monocytogenes* adalah suhu lingkungan. Suhu lingkungan berpengaruh terhadap pertumbuhan bakteri. Pada suhu 20° - 30° bakteri *Listeria monocytogenes* masih bergerak aktif. Pada suhu 30° - 40° bakteri *Listeria monocytogenes* masih dapat berkembang dengan baik. Kemudian pada suhu 50 °C akan 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 (Niemiets, 2006). Suhu lingkungan yang panas menyebabkan semua bagian sel rusak sehingga protein juga akan ikut rusak.

4.4 Intergrasi dengan Al-Qur'an

Al-Qur'an diturunkan Allah SWT sebagai pedoman hidup manusia untuk kepentingan dan keselamatan, kebahagiaan serta kesejahteraan umat manusia lahir dan batin, di dunia maupun di akhirat, oleh karena itu Al-Qur'an dapat mengantarkan dan memberikan keselamatan secara utuh karena memiliki ajaran secara lengkap, yang mencakup segala aspek kehidupan manusia termasuk didalamnya masalah kesehatan.

Di dalam Al-Qur'an surat Al-Baqarah ayat 22 disebutkan:

الَّذِي جَعَلَ لَكُمُ الْأَرْضَ فِرَاشًا وَالسَّمَاءَ بِنَاءً وَأَنْزَلَ مِنَ السَّمَاءِ مَاءً فَأَخْرَجَ بِهِ
مِنَ الثَّمَرَاتِ رِزْقًا لَّكُمْ ۖ فَلَا تَجْعَلُوا لِلَّهِ أَنْدَادًا وَأَنْتُمْ تَعْلَمُونَ ﴿٢٢﴾

“Dialah Yang menjadikan bumi sebagai hamparan bagimu dan langit sebagai atap, dan Dia menurunkan air (hujan) dari langit, lalu Dia menghasilkan dengan hujan itu segala buah-buahan sebagai rizki bagimu, karena itu janganlah kamu mengadakan sekutu-sekutu bagi Allah, padahal kamu mengetahui” (Q.S Al-Baqarah: 22).

Ayat di atas menerangkan bahwa Allah menurunkan air hujan kemudian dari air hujan tersebut Allah menciptakan berbagai macam buah-buahan seperti buah kurma, pisang, delima dan lain-lain termasuk buah apel. Maka dari itu perlu kita renungkan bahwa Allah memberikan banyak sekali rizki kepada kita, yaitu dari turunnya air hujan, bumi menjadi subur sehingga dapat ditanami dengan berbagai macam sayuran dan buah-buahan. Perlu kita renungkan pula bahwa Allah SWT begitu menyayangi kita dengan menyediakan segala keperluan kita baik makanan, tempat tinggal dan lain sebagainya. Maka dari itu hendaklah kita tidak menyekutukan Allah SWT.

Di dalam Al-Qur'an surat al-Baqarah ayat 168 juga disebutkan:

يَتَأْتِيهَا النَّاسُ كُلُّوْا مِمَّا فِي الْأَرْضِ حَلَلًا طَيِّبًا وَلَا تَتَّبِعُوا خُطُوَاتِ الشَّيْطَانِ إِنَّهُ لَكُمْ عَدُوٌّ مُّبِينٌ ﴿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).

Melalui ayat-ayat di atas Allah SWT menyeru kepada kita semua agar memakan makanan halal yang sudah disediakan di bumi ini, dalam mencari rizki pun juga dengan cara yang halal dan diridoi Allah, sehingga apa yang diperoleh itu akan membawa keberkahan, dan mempermudah mendapatkan rahmat Allah SWT.

Makanan yang halal adalah makanan yang dibolehkan oleh agama dari segi hukumnya, baik halal dzatnya, dibolehkan oleh agama, misalnya telur, buah-buahan, sayur-mayur dan lain-lain. Makanan halal hakikatnya adalah makanan yang didapat dan diolah dengan cara yang benar menurut agama, misalnya makanan seperti contoh di atas yang diperoleh dengan usaha yang benar, sapi yang disembelih dengan menyebut nama Allah dan lain-lain. Dianjurkan pula agar kita mengonsumsi makanan yang baik, yaitu makanan yang tidak menyebabkan penyakit sehingga tidak membahayakan bagi tubuh manusia. Makanan yang baik merupakan faktor yang sangat penting bagi tubuh karena dengan kondisi tubuh yang sehat manusia dapat beraktifitas dengan nyaman dan banyak berbuat kebaikan dengan memberi manfaat kepada sesama.

Disebutkan pula dalam Q.S Al-Baqarah ayat 172:

يَا أَيُّهَا الَّذِينَ ءَامَنُوا كُلُوا مِن طَيِّبَاتِ مَا رَزَقْنَاكُمْ وَاشْكُرُوا لِلَّهِ إِن كُنتُمْ إِيَّاهُ

تَعْبُدُونَ ﴿١٧٢﴾

“Hai orang-orang yang beriman, makanlah di antara rezeki yang baik-baik yang Kami berikan kepadamu dan bersyukurlah kepada Allah, jika benar-benar hanya kepada-Nya kamu menyembah (Q.S Al-Baqarah: 172)."

Di dalam ayat ini, Allah mengulangi kembali agar memakan makanan yang baik, sebagaimana yang ditegaskan dalam ayat 168. Selanjutnya Allah menyeru agar selalu bersyukur terhadap nikmat-Nya jika benar-benar beribadah dan menghamba kepada-Nya. Allah SWT menganjurkan agar kita memakan makanan yang baik. Makanan yang baik yaitu makanan yang dapat dipertimbangkan dengan akal, dan ukurannya adalah kesehatan. Artinya makanan yang baik adalah yang berguna dan tidak membahayakan bagi tubuh manusia dilihat dari sudut kesehatan. Maka makanan yang baik lebih bersifat kondisional, tergantung situasi dan kondisi manusia yang bersangkutan, misalnya suatu jenis makanan sangat baik untuk si A, belum tentu baik pula untuk si B atau si C. Makanan yang baik belum tentu halal dan yang halal belum tentu baik.

Dalam penelitian ini menggunakan medan listrik berpulsa untuk menghambat pertumbuhan bakteri yang ada pada buah apel. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada perlakuan kuat medan listrik berpulsa sebesar 3,5 kV/cm, lama pemaparan 25 menit dan suhu lingkungan 50 °C yaitu sebesar 0.2×10^8 CFU/ml. Jika dibandingkan dengan jumlah koloni bakteri kontrol atau yang tidak diberikan perlakuan hasilnya adalah 23.7×10^8 CFU/ml.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil dari penelitian mengenai pemaparan medan listrik berpulsa dengan variasi kuat medan listrik, lama pemaparan serta variasi suhu untuk menghambat pertumbuhan biofilm bakteri *Listeria monocytogenes* maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Kuat medan listrik berpulsa dapat mengurangi jumlah bakteri *Listeria monocytogenes*. Hal ini dapat diketahui data hasil jumlah bakteri yang masih hidup yaitu pada kuat medan listrik berpulsa 3.5 kV/cm dalam waktu 25 menit pada suhu lingkungan 50 °C jumlah bakteri yang masih hidup sebesar 0.2×10^8 CFU/ml. Semakin besar medan listrik berpulsa maka jumlah sel bakteri semakin berkurang.
2. Lama waktu pemaparan berpengaruh terhadap penurunan jumlah sel bakteri *Listeria monocytogenes*. Dari data yang diperoleh dapat dilihat bahwa penurunan jumlah bakteri yang paling banyak adalah pada waktu pemaparan selama 25 menit. Semakin lama waktu yang diberikan maka penurunan jumlah bakteri akan semakin baik.
3. Suhu lingkungan juga berpengaruh terhadap penurunan jumlah sel bakteri *Listeria monocytogenes*. Pada pemaparan medan listrik berpulsa sebesar 3 kV/cm selama 15 menit pada suhu lingkungan 20 °C rata-rata jumlah bakteri sebesar 17.6×10^8 CFU/ml, sedangkan pada pemaparan 3.5 kV/cm selama 25 menit pada suhu lingkungan 50 °C rata-rata jumlah bakteri

sebesar 0.2×10^8 CFU/ml. Semakin tinggi suhu lingkungan maka penurunan jumlah koloni bakteri semakin baik pula.

5.2 Saran

Berdasarkan kesimpulan yang sudah dikemukakan maka diberikan saran

Untuk mengadakan perbaikan di masa mendatang, yaitu:

1. Diperlukan penelitian lebih lanjut terhadap penggunaan medan listrik berpulsa dengan kuat medan yang lebih tinggi sehingga bakteri yang terpapar tidak ada yang tumbuh.
2. Diperlukan penelitian lebih lanjut terhadap penggunaan medan listrik yang lebih tinggi, waktu yang lebih singkat serta suhu lingkungan yang tidak terlalu tinggi untuk membunuh bakteri.
3. Diperlukan penelitian lebih lanjut terhadap jenis bakteri patogen yang lainnya.
4. Pada saat melakukan proses pengenceran dan penanaman bakteri, sebaiknya alat dan bahan harus benar-benar steril sehingga tidak terjadi kontaminasi.

DAFTAR PUSTAKA

- Apriliawan, Hadi. 2012. *Laban Eleectric alat pasteurisasi susu kejut listrik tegangan tinggi (Pulsed Electric Fields) menggunakan flyback transformer*. Malang: Universitas Brawijaya.
- Atlas, RM. 1993. *Hanbook of Microbiological Media*. CRC. Press, Inc. London.
- Bonetta S, Bonetta Si., Corteseb E. C. P, Dellacasab G., Motta R. G. F, PaganonicM. , Pizzichem M. 2010. *A Pulsed Electric Field (PEF) bench static system to study bacteria inactivation*, 12th Topical Seminar on Innovative Particle and Radiation Detectors (IPRD10) 7 - 10 June 2010 Siena, Italy
- Candra, B. 2006. *Pengantar Kesehatan Lingkungan*. Jakarta: Penerbit Buku Kedokteran EGC.
- Champbell, dkk. 2002. *Biologi Edisi Kelima Jilid 1*. Jakarta: Erlangga.
- Costerton, JW. 2006. *Battling Biofilm*. Scientific American 61-67.
- Dearcon. 1997. *Hydrodynamic influences on Biofilm Formation and Growth*. Los Angeles: University of Southern California.
- Donlan, R.M. 2002. *Biofilms: Microbial Life On Surface*. Emerg Infect Dis 8(9): 1-19.
- Dwiyitno dan Riyanto R. 2006. *Studi penggunaan Asap Cair untuk Pengawetan Ikan Kembung Segar*, Jurnal Pascapanen dan Bioteknologi Kelautan dan perikanan I: 143-146.
- Fang J., Piao Z., dan Zhang X. 2006. *Study on High-Voltage Pulsed Electric Fields Sterilization Mechanism Experiment*. The Journal of American Science, 2(2): 39-43.
- Gehl J., 2003, *Electroporation: theory and methods, perspectives for drug delivery, gene therapy and research*, Acta Physiol Scand 2003, 177, 437–447.
- Geveke D.J dan. Kozempel M. F. 2003. *Pulsed Electric Field Effects On Bacteria And Yeast Cells*, Journal Of Food Processing Preservation 27: 65-72.
- Giancoli, Douglas C. *Fisika Edisi Kelima Jilid Dua*. Jakarta: Erlangga.

- Gillespie Stephen dan Bamford Kethleen. 2008. *Listeria monocytogenes: Karakteristik, gejala, peyebaran*. (<http://library.usu.ac.id/>) diakses pada tanggal 24 Februari 2015.
- Gould, GW. 1995. *New Methodes Food Preservatief*. New York : Chapman Hall.
- Harris RS dan Karmas E. 1998. *Nutritional Evaluation of Food Processing. Third Edition*, AVI Publ., Westport.
- Irianto, Koes. 2007. *Menguak Dunia Mikroorganisme Jilid 1*. Bandung: CV Yrama Widya.
- Kolari M., 2003, *Attachment mechanisms and properties of bacterial biofilms on non-living surfaces*, Division of Microbiology Department of Applied Chemistry and Microbiology University of Helsinki Finland
- Lasmawati M.M., Lilil. 2014. *Potensi Medan Listrik Untuk Penonaktifan Biofilm Dari Bakteri Pseudomonas aeruginosa*. UIN Malang
- Lebovka, N.I., Vorobiev, E. 2003. *On the Origin of the Deviation from the first order kinetics in inactivation of Mictobial Cell by Pulsed Electric Fields*, Physics/0306118 V1.
- Marquez, V. O., Mittal, G. S. and Griffiths, M. W. 1997. Destruction and inhibition of bacterial spores by high voltage pulsed electric fields. *J Food Sci.* 62(2): 399-401,409.
- Oginawati,. K. 2008. *Penentuan Total Asupan Harian Unsur Gizi Mikrodalam Makanan Anak-Anak Sekolah Asar Di Bandung Dengan Menggunakan Metode Spektrofotometri Serapan Atom (SSA)*. ITS
- Prakash, B., Veerogowda, B.M. & Krishnappa, G. 2003. *Biofilms :A Survival strategy of bacteria*. *Current Sci.* 85 (9) : 1299-1307.
- Raju G. G., 2003, *Dielectrics in Electric Fields*, Marcel D E K K E R Inc, New York Basel.
- Qin, B. L., Chang F. J., Barbosa-Casanovas, G. V. and swanson, B. G. 1995. *Nonthermal inactivation of S. cerevisiaw in apple juice using pulsed electric fields*. *Lebensm Wiss technol.* 28 (6) : 564-568.
- Qin, B. L., Chang F. J., Barbosa-Casanovas, G. V. and swanson, B. G and Pedrow. 1998. *Inactivating microorganism using continuous treatment system*. *IEEE Trans Indus Applic.* 34(1) : 43-49.

Schoenbach, K. H., Peterkin, F.E., Alden, R. W. and Beebe, S. J. 1997. *The Effect of Pulsed Electric Fields on Biological Cells : Experiments and Applications*. IEEE Trans Plasma Sci. 25(2):284-292.

Soedodo, Peter. 1999. *Fisika Dasar*. Yogyakarta: Andi.

Suryadjaja, 2015. *Listeria monocytogenes : Dosis infeksi Listeria*. (<http://www.CNN.ind/bakteri/apel impor.html>) diakses pada tanggal 18 Februari 2015.

Tirono, Mokhamad. 2012. Efek medan listrik ac terhadap pertumbuhan bakteri *Klebsiella Pneumoniae*. UIN Malang.

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

Tri Wahyuni. 2015. *Listeria monocytogenes : Bahaya pada manusia, gejala*. (<http://www.cfsanfd.gov/~mow/intro.html>) diakses pada tanggal 18 Februari 2015.

Tsong T. Y., 1991, *Electroporation of cell membranes*, Biophys. J. c Biophysical Society Volume 60 297-306

Turner, R. J. 2005. *Environmental Microbiology*. Persister cells, the biofilm matrix and tolerance to metal cations in biofilm and planktonic *Pseudomonas aeruginosa*. 7: 981-994

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

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

Zudans I., Agawal A., Orwar W., dan weber S.G. 2007. *Numerical Calculations of Single-Cell Electroporation with an Biophysical*. Journal Volime 92: 3696-3705.

<http://djurnal.com/apel-amerika-dilarang-masuk-indonesia-ini-bahayanya>. Diakses pada tanggal 18 Februari 2015.

<http://www.depkes.go.id/article/view/150128000>. Diakses pada tanggal 17 Februari 2015.

<http://www.jawapos.com/baca/artikel/12265>. Diakses pada tanggal 18 Februari 2015.

(<http://www.cfsanfda.gov/~mow/intro.html>) diakses pada tanggal 18 Februari 2015.

(<http://www.CNN.ind/bakteri/apel impor.html>) diakses pada tanggal 18 Februari 2015.



Lampiran 1. Data Hasil Koloni Bakteri *Listeria monocytogenes*

Perlakuan			Jumlah Sel Bakteri (CFU/ml)			Rata-rata
E (kV/cm)	Waktu (menit)	Suhu (Celcius)	1	2	3	
0	0		23.5×10^8	24.4×10^8	22.4×10^8	23.7×10^8
3	15	20	18.2×10^8	17.3×10^8	17.4×10^8	17.6×10^8
		30	12.9×10^8	11.8×10^8	11.3×10^8	12×10^8
		40	9.5×10^8	8.4×10^8	9.1×10^8	9×10^8
		50	5.4×10^8	6×10^8	5.3×10^8	5.5×10^8
	20	20	13.3×10^8	12.7×10^8	12.6×10^8	12.9×10^8
		30	8.9×10^8	9.2×10^8	9.8×10^8	9.3×10^8
		40	7.8×10^8	8.8×10^8	8.1×10^8	8.2×10^8
		50	3.8×10^8	4.2×10^8	3.5×10^8	3.8×10^8
	25	20	10.1×10^8	9.9×10^8	9.4×10^8	9.8×10^8
		30	7.6×10^8	7.3×10^8	8.6×10^8	7.2×10^8
		40	6×10^8	7.1×10^8	6.8×10^8	6.6×10^8
		50	3.4×10^8	3.5×10^8	3.8×10^8	3.6×10^8
3,5	15	20	8.2×10^8	8.6×10^8	7.7×10^8	8.2×10^8
		30	6.4×10^8	5.3×10^8	5.6×10^8	5.8×10^8
		40	3.9×10^8	4.3×10^8	4.1×10^8	4.1×10^8
		50	2.5×10^8	2.6×10^8	2.3×10^8	2.5×10^8
	20	20	7.3×10^8	7.8×10^8	6.8×10^8	7.3×10^8
		30	3.8×10^8	2.5×10^8	2.9×10^8	3.1×10^8
		40	2×10^8	1.8×10^8	2.5×10^8	2.1×10^8
		50	1.1×10^8	1.5×10^8	0.9×10^8	1.2×10^8
	25	20	3.1×10^8	3.7×10^8	2.2×10^8	3×10^8
		30	1.3×10^8	0.8×10^8	1.6×10^8	1.2×10^8
		40	0.8×10^8	0.4×10^8	1×10^8	0.7×10^8
		50	0.1×10^8	0.3×10^8	0.2×10^8	0.2×10^8

**Lampiran 2. Data Hasil Presentase Penurunan Bakteri *Listeria monocytogenes*
Setelah Dipapar oleh Medan Listrik Berpulsa**

Perlakuan			Presentase penurunan jumlah bakteri (%)
E (kV/cm)	Waktu	Suhu	
3	15	20	27 %
		30	57.74 %
		40	63.71 %
		50	76.79 %
	20	20	41.35 %
		30	58.65 %
		40	66.24 %
		50	81.86 %
	25	20	57.38 %
		30	66.67 %
		40	73.84 %
		50	85.65 %
3,5	15	20	64.14 %
		30	76.37 %
		40	83.12 %
		50	89.03 %
	20	20	69.20 %
		30	83.54 %
		40	91.14 %
		50	94.94 %
	25	20	86.92 %
		30	93.25 %
		40	96.62 %
		50	98.73 %

Lampiran 3. Data hasil pengukuran medan listrik terhadap jarak

Tabel data hasil medan listrik pada saat $V = 5 \text{ kV}$

$V = 5000 \text{ V} = 5 \text{ kV}$		
d (m)	E_0 (kV/m)	E (kV/m)
$2 \cdot 10^{-2}$	249,9	35
$3 \cdot 10^{-2}$	166,6	20
$4 \cdot 10^{-2}$	124,95	15
$5 \cdot 10^{-2}$	100	10
$6 \cdot 10^{-2}$	99,96	12
$7 \cdot 10^{-2}$	71,426	5,03
$8 \cdot 10^{-2}$	62,5	5

Tabel data hasil medan listrik pada saat $V = 6 \text{ kV}$

$V = 6000 \text{ V} = 6 \text{ kV}$		
d (m)	E_0 (kV/m)	E (kV/m)
$2 \cdot 10^{-2}$	299,88	42
$3 \cdot 10^{-2}$	199,92	24
$4 \cdot 10^{-2}$	149,94	18
$5 \cdot 10^{-2}$	120	12
$6 \cdot 10^{-2}$	99,96	12
$7 \cdot 10^{-2}$	85,768	6,04
$8 \cdot 10^{-2}$	75	6

Tabel hasil data medan listrik pada saat $V = 7 \text{ kV}$

$V = 7000 \text{ V} = 7 \text{ kV}$		
d (m)	E_0 (kV/m)	E (kV/m)
$2 \cdot 10^{-2}$	349,86	49
$3 \cdot 10^{-2}$	233,24	28
$4 \cdot 10^{-2}$	174,93	21
$5 \cdot 10^{-2}$	140	14
$6 \cdot 10^{-2}$	116,62	14
$7 \cdot 10^{-2}$	99,968	7,04
$8 \cdot 10^{-2}$	87,5	7