

**PENGARUH MEDAN LISTRIK BERPULSA  
DAN CAHAYA ULTRAVIOLET-C  
TERHADAP PERTUMBUHAN BIOFILM *Escherichia coli***

**SKRIPSI**

Oleh:

**LAILIA NUR FAIZSA**

**NIM. 13640062**



**JURUSAN FISIKA  
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI  
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM  
MALANG  
2017**

**PENGARUH MEDAN LISTRIK BERPULSA  
DAN CAHAYA ULTRAVIOLET-C  
TERHADAP PERTUMBUHAN BIOFILM *Escherichia coli***

**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:

**LAILIA NUR FAIZSA  
NIM. 13640062**

**JURUSAN FISIKA  
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI  
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM  
MALANG  
2017**

**HALAMAN PERSETUJUAN**

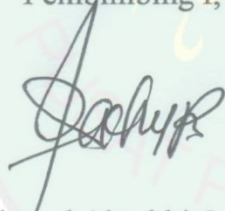
PENGARUH MEDAN LISTRIK BERPULSA  
DAN CAHAYA ULTRAVIOLET-C  
TERHADAP PERTUMBUHAN BIOFILM *Escherichia coli*

SKRIPSI

Oleh:  
LAILIA NUR FAIZSA  
NIM. 13640062

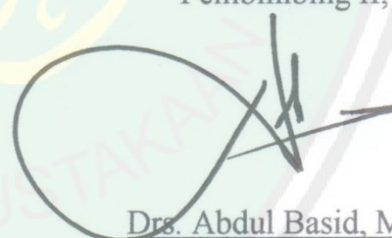
Telah Diperiksa dan Disetujui untuk Diuji:  
Tanggal: 30 Oktober 2017

Pembimbing I,



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

Pembimbing II,



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

Mengetahui,  
Ketua Jurusan Fisika



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

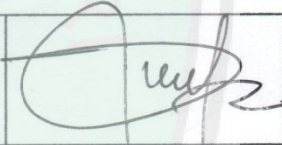
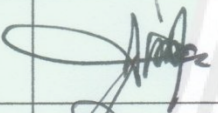
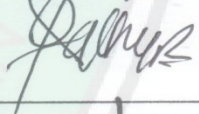
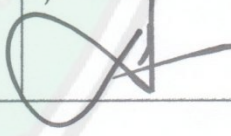
**HALAMAN PENGESAHAN**

**PENGARUH MEDAN LISTRIK BERPULSA  
DAN CAHAYA ULTRAVIOLET-C  
TERHADAP PERTUMBUHAN BIOFILM *Escherichia coli***

SKRIPSI

Oleh:  
LAILIA NUR FAIZSA  
NIM. 13640062

Telah Dipertahankan di Depan Dewan Penguji Skripsi dan  
Dinyatakan Diterima Sebagai Salah Satu Persyaratan  
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Sains (S.Si)  
Tanggal: 9 November 2017

Penguji Utama	: <u>Dr. H. M. Tirono, M.Si</u> NIP. 19641211 199111 1 001	
Ketua Penguji	: <u>Erika Rani, M.Si</u> NIP. 19810613 200604 2 002	
Sekretaris Penguji	: <u>Ahmad Abtokhi, M.Pd</u> NIP. 19761003 200312 1 004	
Anggota Penguji	: <u>Drs. Abdul Basid, M.Si</u> NIP. 19650504 199003 1 003	

Mengesahkan,  
Ketua Jurusan Fisika



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

## PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN

Saya yang bertandatangan di bawah ini:

Nama : LAILIA NUR FAIZSA  
NIM : 13640062  
Jurusan : FISIKA  
Fakultas : SAINS DAN TEKNOLOGI  
Judul Penelitian : Pengaruh Medan Listrik Berpulsa dan Cahaya  
Ultraviolet-C Terhadap Pertumbuhan Biofilm  
*Escherichia coli*

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri, bukan merupakan pengambil alihan 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,  
Yang Membuat Pernyataan,



LAILIA NUR FAIZSA  
NIM. 13640062

MOTTO

وَقَالَ رَبُّكُمْ ادْعُونِي أَسْتَجِبْ لَكُمْ

**“And your Lord says: Call upon Me, I will answer you”**

﴿Q.S. al-Mu'min/40: 60﴾

**\*IKHTIAR**

**\*DOA**

**\*TAWAKKAL**

*Dan, ingatlah bahwa*

*“hasil dari proses belajar bukan hanya pengetahuan,*

*melainkan juga tindakan”.*

## HALAMAN PERSEMBAHAN

*Dengan mengucap rasa syukur kepada Allah 'azza wa jalla  
Kupersembahkan karya ini untuk*

*Allah subhanahu wa ta'ala,  
atas semua nikmat iman dan islam serta limpahan rahmat,  
sehingga membuat penulis merasa bahwa  
pertolongan Allah begitu dekat.  
Semoga karya ini menjadi amal sholeh,  
dan menjadi kebanggaan bagi keluarga.*

*Persembahan khusus untuk kedua orang tuaku tercinta,  
Bapak Ahmad Sanusi dan Ibu Subaidah  
yang selalu tiada henti memanjatkan doa  
dalam setiap sujud,  
atas ketuhanan kasih sayang  
yang senantiasa memberi  
tanpa mengharap balasan,  
dengan tulus ikhlas  
mendidik dan membimbingku..*

*Seorang adam terkasih,  
Ugik Harianto  
yang setia menunggu  
dan selalu mendampingi..  
Terima kasih untuk  
semua dukungan, motivasi, serta doa  
demi keberhasilanku..*

*Ayunda tersayang,  
Resma Nur Aufa  
yang selalu mengingatkanku  
untuk tetap semangat  
dalam menghadapi  
semua kesulitan yang ada..*

## KATA PENGANTAR



*Assalamu'alaikum Wr. Wb.*

Alhamdulillah puji syukur kehadiran Allah SWT yang telah memberikan rahmat, taufiq dan hidayah-Nya. Sholawat dan salam semoga selalu tercurahkan kepada junjungan kita Baginda Rasulullah, Nabi besar Muhammad SAW serta para keluarga, sahabat, dan pengikut-pengikutnya. Atas ridho dan kehendak Allah SWT, penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **Pengaruh Medan Listrik Berpulsa dan Cahaya Ultraviolet-C terhadap Pertumbuhan Biofilm *Escherichia coli*** sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains (S.Si) di Jurusan Fisika Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.

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. Abdul Haris, M.Ag selaku rektor Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang yang telah memberikan pengetahuan dan pengalaman yang berharga.
2. Dr. Sri Harini, M.Si selaku dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
3. Drs. Abdul Basid, M.Si selaku ketua Jurusan Fisika yang telah banyak meluangkan waktu, nasihat dan inspirasinya sehingga dapat melancarkan dalam proses penulisan skripsi.
4. Ahmad Abtokhi, M.Pd selaku dosen pembimbing skripsi yang telah banyak meluangkan waktu dan pikirannya serta memberikan bimbingan, bantuan dan arahan kepada penulis sehingga skripsi ini dapat terselesaikan.
5. Drs. Abdul Basid, M.Si selaku dosen pembimbing agama, yang bersedia meluangkan waktu untuk memberikan bimbingan dan pengarahan bidang intgrasi Sains dan al-Qur'an serta Hadits.



6. Segenap dosen, laboran dan admin Jurusan Fisika Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang yang telah bersedia mengamalkan ilmunya, membimbing dan memberikan pengarahan serta membantu selama proses perkuliahan.
7. Kedua orang tua Bapak Ahmad Sanusi dan Ibu Subaidah serta semua keluarga yang telah memberikan restu, dukungan, serta selalu mendoakan disetiap langkah penulis.
8. Teman-teman dan para sahabat, terimakasih atas kebersamaan dan persahabatan serta pengalaman selama ini.
9. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu, yang telah banyak membantu dalam penyelesaian skripsi ini.

Semoga Allah SWT memberikan balasan yang berlipat ganda atas segala bantuan dan dukungannya kepada penulis. Semoga skripsi ini bisa memberikan manfaat, tambahan ilmu serta dapat menjadikan inspirasi kepada para pembaca.

*Amin Ya Rabbal Alamin.*

*Wassalamu'alaikum Wr. Wb.*

Malang,

Penulis

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	i
<b>HALAMAN PENGAJUAN</b> .....	ii
<b>HALAMAN PERSETUJUAN</b> .....	iii
<b>HALAMAN PENGESAHAN</b> .....	iv
<b>HALAMAN PERNYATAAN</b> .....	v
<b>MOTTO</b> .....	vi
<b>HALAMAN PERSEMBAHAN</b> .....	vii
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	viii
<b>DAFTAR ISI</b> .....	x
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xii
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xiii
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	xiv
<b>ABSTRAK</b> .....	xv
<b>ABSTRACT</b> .....	xvi
<b>مستخلص</b> .....	xvii
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	6
1.3 Tujuan Penelitian .....	6
1.4 Manfaat Penelitian .....	7
1.5 Batasan Masalah .....	7
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	8
2.1 Medan Listrik .....	8
2.1.1 Kuat Medan Listrik dalam Pelat Sejajar .....	11
2.1.2 Potensial Transmembran pada Bakteri .....	12
2.1.3 Efek Biologis Bakteri yang Dipapari Medan Listrik .....	13
2.1.4 Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Medan Listrik dalam Inaktivasi Mikroba .....	17
2.2 Cahaya Ultraviolet .....	19
2.2.1 Intensitas Cahaya Ultraviolet .....	21
2.2.2 Interaksi Cahaya terhadap Sel Bakteri .....	23
2.2.3 Mekanisme Ultraviolet dalam Inaktivasi Bakteri .....	27
2.3 Bakteri .....	29
2.4 Biofilm .....	33
2.5 Efek Kombinasi Medan Listrik dan Sinar Ultraviolet terhadap Proses Antibakteri .....	35
<b>BAB III METODE PENELITIAN</b> .....	37
3.1 Jenis Penelitian .....	37
3.2 Waktu dan Tempat Penelitian .....	37
3.3 Alat dan Bahan Penelitian .....	37
3.3.1 Alat-alat Penelitian .....	37
3.3.2 Bahan-bahan Penelitian .....	38
3.4 Desain Rancangan Alat .....	38
3.5 Rancangan Penelitian .....	39
3.6 Prosedur Penelitian .....	40

3.6.1 Sterilisasi .....	40
3.6.2 Pembuatan Media NA ( <i>Nutrien Ager</i> ).....	41
3.6.3 Pembuatan Media NB ( <i>Nutrien Broth</i> ).....	41
3.6.4 Pembuatan Media PCA ( <i>Plate Count Agar</i> ).....	41
3.6.5 Pembiakan Bakteri <i>Escherichia coli</i> .....	42
3.6.6 Pembuatan Biofilm Bkateri <i>Escherichia coli</i> .....	42
3.6.7 Pemaparan Medan Listrik Berpulsa dan Cahaya Ultraviolet C.....	42
3.6.8 Dilusi (Pengenceran) .....	43
3.6.9 Penghitungan Koloni Bakteri .....	44
3.7 Teknik Pengumpulan Data.....	45
3.8 Teknik Analisis Data.....	46
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN</b> .....	47
4.1 Hasil Penelitian .....	47
4.1.1 Pengaruh Medan Listrik Berpulsa Terhadap Pertumbuhan Jumlah Bakteri <i>Escherichia coli</i> .....	48
4.1.2 Pengaruh Medan Listrik Berpulsa dan Cahaya Ultraviolet-C Terhadap Pertumbuhan Jumlah Bakteri <i>Escherichia coli</i> .....	50
4.1.3 Pengaruh Waktu Pemaparan Medan Listrik Berpulsa dan Cahaya Ultraviolet-C Terhadap Pertumbuhan Jumlah Bakteri <i>Escherichia coli</i> 51	
4.2 Pembahasan.....	54
4.2.1 Pengaruh Medan Listrik Berpulsa Terhadap Pertumbuhan Jumlah Bakteri <i>Escherichia coli</i> .....	54
4.2.2 Pengaruh Medan Listrik Berpulsa dan Cahaya Ultraviolet-C Terhadap Pertumbuhan Jumlah Bakteri <i>Escherichia coli</i> .....	56
4.2.3 Pengaruh Waktu Pemaparan Medan Listrik Berpulsa dan Cahaya Ultraviolet-C Terhadap Pertumbuhan Jumlah Bakteri <i>Escherichia coli</i> 57	
4.3 Sterilisasi dalam Pandangan al-Qur'an dan Hadits.....	57
<b>BAB V PENUTUP</b> .....	61
5.1 Simpulan .....	61
5.2 Saran .....	62
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	
<b>LAMPIRAN</b>	

## DAFTAR GAMBAR

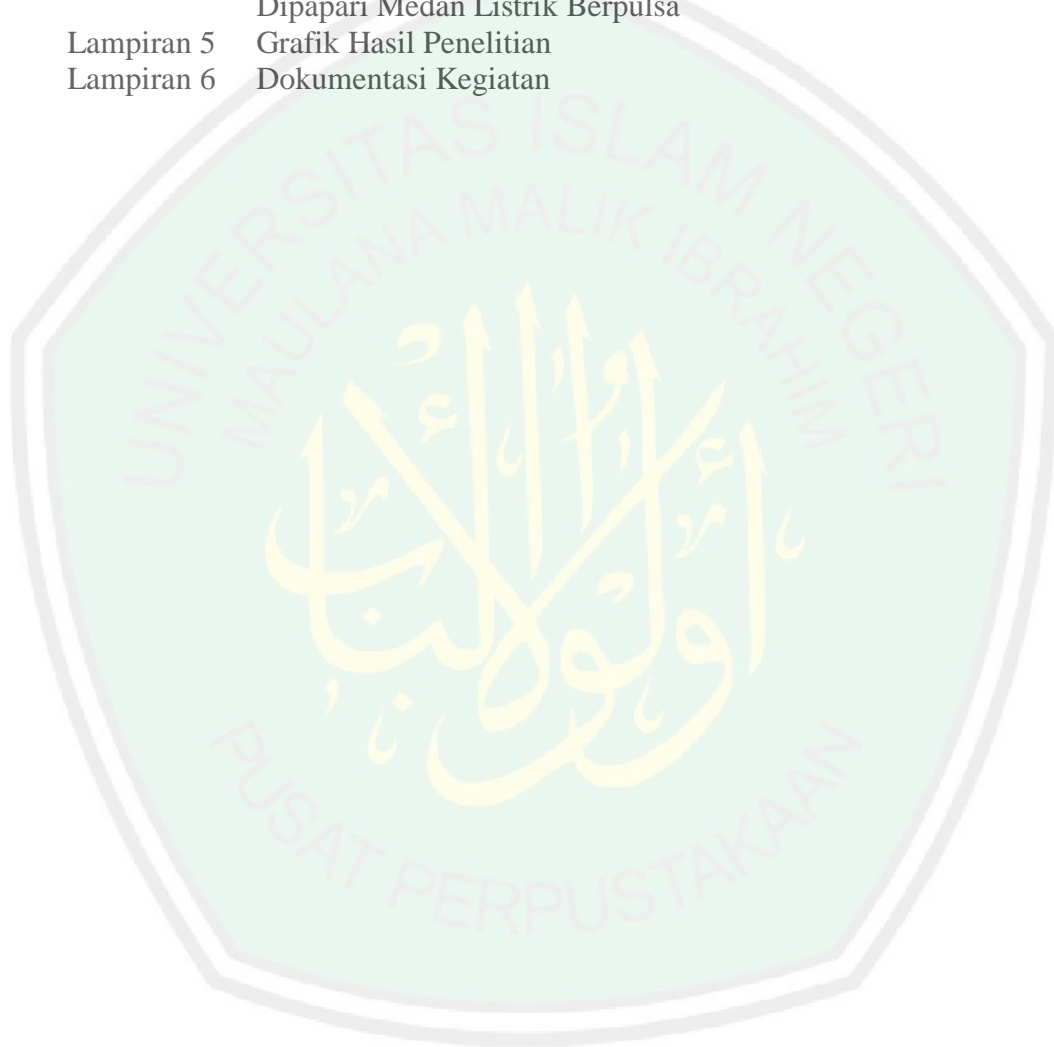
Gambar 2.1	Garis-Garis Medan Listrik Untuk Empat Muatan .....	9
Gambar 2.2	Diagram Perusakan Membran Sel .....	14
Gambar 2.3	Elektroporasi Membran Sel .....	15
Gambar 2.4	Kisaran Parameter untuk Aplikasi <i>Bioelectric</i> .....	16
Gambar 2.5	Efek-Efek Cahaya Terhadap Sel Bakteri.....	24
Gambar 2.6	Mekanisme Cahaya Terhadap Sel Bakteri .....	26
Gambar 2.7	Struktur DNA yang Pecah Karena Terpapar Sinar UV .....	28
Gambar 2.8	Efek Sinar UV-C pada DNA .....	28
Gambar 2.9	Morfologi Bakteri <i>Escherichia coli</i> .....	30
Gambar 2.10	Struktur Sel Bakteri <i>Escherichia coli</i> .....	31
Gambar 2.11	Mekanisme Pembentukan Biofilm .....	34
Gambar 3.1	Rangkaian Percobaan Sebagai Perlakuan Pada Bakteri <i>Escherichia coli</i> .....	38
Gambar 3.2	Alur Rancangan Penelitian .....	39
Gambar 3.3	Proses Pengenceran dalam Metode Total Koloni (TPC).....	43
Gambar 4.1	Penurunan Jumlah Bakteri <i>Escherichia coli</i> setelah Dipapari Medan Listrik Berpulsa .....	49
Gambar 4.2	Penurunan Jumlah Bakteri <i>Escherichia coli</i> setelah Dipapari Medan Listrik Berpulsa dan Cahaya Ultraviolet-C .....	50
Gambar 4.3	Penurunan Jumlah Bakteri <i>Escherichia coli</i> dengan Variasi Waktu Pemaparan .....	53

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Mekanisme Senyawa Antimikroorganisme .....	36
Tabel 3.1	Rata-Rata dan Penurunan Jumlah Bakteri <i>Escherichia Coli</i> Setelah Dipapari Medan Listrik Berpulsa .....	45
Tabel 3.2	Rata-Rata dan Penurunan Jumlah Bakteri <i>Escherichia Coli</i> Setelah Dipapari Medan Listrik Berpulsa dan Cahaya Ultraviolet-C .....	45
Tabel 3.3	Rata-Rata dan Penurunan Jumlah Bakteri <i>Escherichia Coli</i> Setelah Dipapari Medan Listrik Berpulsa dan Cahaya Ultraviolet-C dengan Variasi Waktu Pemaparan .....	45
Tabel 4.1	Rata-Rata dan Penurunan Jumlah Bakteri <i>Escherichia Coli</i> yang Dipapari Medan Listrik Berpulsa .....	48
Tabel 4.2	Rata-Rata dan Penurunan Jumlah Bakteri <i>Escherichia Coli</i> yang Dipapari Medan Listrik Berpulsa dan Cahaya Ultraviolet-C selama 25 menit .....	50
Tabel 4.3	Rata-Rata dan Penurunan Jumlah Bakteri <i>Escherichia Coli</i> Setelah Dipapari Medan Listrik Berpulsa 3 kV/cm; 3,25 kV/cm; 3,5 kV/cm dan Cahaya Ultraviolet-C 260 mW/cm <sup>2</sup> dengan Variasi Waktu Pemaparan .....	52

## DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1 Rata-Rata Jumlah Bakteri *Escherichia Coli* Setelah Dipapari Medan Listrik Berpulsa dan Cahaya Ultraviolet-C
- Lampiran 2 Rata-Rata Jumlah Bakteri *Escherichia Coli* Setelah Dipapari Medan Listrik Berpulsa
- Lampiran 3 Data Persentase Penurunan Bakteri *Escherichia coli* Setelah Dipapari Medan Listrik Berpulsa dan Cahaya Ultraviolet-C
- Lampiran 4 Data Persentase Penurunan Bakteri *Escherichia coli* Setelah Dipapari Medan Listrik Berpulsa
- Lampiran 5 Grafik Hasil Penelitian
- Lampiran 6 Dokumentasi Kegiatan



## ABSTRAK

Nur Faizsa, Lailia. 2017. **Pengaruh Medan Listrik Berpulsa dan Cahaya Ultraviolet-C Terhadap Pertumbuhan Biofilm *Escherichia coli***. Skripsi. Jurusan Fisika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri (UIN) Maulana Malik Ibrahim Malang. Pembimbing: (I) Ahmad Abtokhi, M.Pd (II) Drs. Abdul Basid, M.Si

---

**Kata Kunci:** medan listrik, ultraviolet-C, biofilm, *Escherichia coli*.

Kaki merupakan salah satu bagian tubuh yang mudah terinfeksi bakteri dan jamur. Infeksi tersebut dapat diakibatkan oleh kebersihan kaki yang kurang terjaga, sehingga bakteri dapat hidup pada kaki. Penggunaan sepatu dan kaos kaki akan meningkatkan suhu dan kelembaban kaki sehingga kaki mengeluarkan keringat. Bakteri menguraikan leusin dalam keringat menjadi asam isovalerat, yaitu asam lemak penyebab bau kaki. Bakteri *Escherichia coli* merupakan salah satu bakteri penyebab bau kaki. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh medan listrik berpulsa, pengaruh kombinasi medan listrik berpulsa dan cahaya ultraviolet-C, serta pengaruh waktu pemaparan terhadap pertumbuhan jumlah bakteri *Escherichia coli*. Metode penelitian diawali dengan pembuatan biofilm *Escherichia coli* pada lempeng sepatu. Selanjutnya biofilm dipapari medan listrik berpulsa dengan kuat medan 3 kV/cm; 3,25 kV/cm; 3,5 kV/cm dan cahaya ultraviolet-C dengan intensitas 100 mW/cm<sup>2</sup>; 180 mW/cm<sup>2</sup>; 260 mW/cm<sup>2</sup> selama 5 menit; 10 menit; 15 menit; 20 menit; 25 menit. Kemudian biofilm yang telah dipapari diencerkan dan dihitung jumlah koloninya. Hasil penelitian menunjukkan bahwa medan listrik berpulsa, kombinasi medan listrik berpulsa dan cahaya ultraviolet-C serta waktu pemaparan berpengaruh terhadap pertumbuhan biofilm *Escherichia coli*. Pengaruh medan listrik berpulsa dan cahaya ultraviolet-C yang optimum yaitu sebesar 3,5 kV/cm dan 180 mW/cm<sup>2</sup> dengan waktu pemaparan 25 menit dan pada kuat medan 3,5 kV/cm dengan intensitas 260 mW/cm<sup>2</sup> selama 20 dan 25 menit. Perlakuan tersebut mampu menurunkan jumlah bakteri hingga 100 %. Hal ini menunjukkan bahwa medan listrik berpulsa dan cahaya ultraviolet-C dapat digunakan untuk menghambat pertumbuhan biofilm *Escherichia coli*.

## ABSTRACT

Nur Faizsa, Lailia. 2017. **The Effect of Pulsed Electric Field and Ultraviolet-C Light To The Growth of Biofilm *Escherichia coli***. Thesis. Physics Department, Faculty of Science and Technology, Islamic State University (UIN) Maulana Malik Ibrahim Malang. Advisors: (I) Ahmad Abtokhi, M.Pd (II) Drs. Abdul Basid, M.Si

---

Keywords: Electric field, Ultraviolet-C, biofilm, *Escherichia coli*

Foot is one part of the body that are easily infected with bacteria and fungi. These infections can be caused by the hygiene of foot is less safe, so that bacteria can live on the feet. The use of shoes and socks will increase the temperature and humidity of the feet so that the feet diaphoretic. Leusin outlines the bacteria in sweat isovaleric acid, it is fatty acids cause the foot odor. The bacteria *Escherichia coli* is one of the foot odor. This research was aimed at finding the effect of pulsed electric field, combination of pulsed electric field and ultraviolet-C light, and time exposure to the growth of biofilm *Escherichia coli*. The research method beginning with the manufacture of *Escherichia coli* biofilm on the shoe plate. Next biofilm was exposed to pulsed electric field with the power of 3 kV/cm; 3,25 kV/cm; 3,5 kV/cm and ultraviolet-C light with the intensity of 100 mW/cm<sup>2</sup>; 180 mW/cm<sup>2</sup>; 260 mW/cm<sup>2</sup> for 5 minutes; 10 minutes; 15 minutes; 20 minutes; 25 minutes time of exposure. Then biofilm which has been exposed will diluted and calculated the colonies. The result of this research showed that the power of pulsed electric field, ultraviolet-c light and time of exposure affected the growth of biofilm *Escherichia coli*. The optimum treatment is electric field with the power of 3,5 kV/cm and ultraviolet-C light with the intensity of 180 mW/cm<sup>2</sup> for 25 minutes and electric field with the power of 3,5 kV/cm and ultraviolet-C light with the intensity of 180 and 260 mW/cm<sup>2</sup> for 20 and 25 minutes. The treatment was able to lower the growth of bacteria until 100 %. This showed that pulsed electric field and ultraviolet-C light can be used to obstruct the growth of biofilm *Escherichia coli*.



## مستخلص

نور فايزا، ليليا. ٢٠١٧. تأثير الحقول الكهربائية والضوء فوق البنفسجي - ج على نمو الإشريكية القولونية بيوفيلم. أطروحة. قسم الفيزياء، كلية العلوم والتكنولوجيا، بجامعة مولانا مالك إبراهيم الإسلامية الحكومية مالانق. المشرف الأولى: أحمد أبطخي الماجستير، والمشرف الثانية: الدكتور الحاج عبد البسيط، الماجستير.

الكلمات الرئيسية: المجال الكهربائي، الأشعة فوق البنفسجية- ج، بيوفيلم، الإشريكية القولونية.

القدم هو جزء من الجسم الذي يصاب بسهولة بالبكتيريا والفطريات. يمكن أن يكون سبب العدوى بسبب سوء نظافة القدم، بحيث البكتيريا يمكن أن يعيش على القدمين. فإن استخدام الأحذية والجوارب زيادة درجة الحرارة والرطوبة من القدمين حتى القدمين العرق. البكتيريا كسر ليوسين في العرق إلى حمض إيسوفالريك، والأحماض الدهنية التي تسبب رائحة القدم. البكتيريا الإشريكية القولونية هي واحدة من البكتيريا التي تسبب رائحة القدم. تهدف هذه الدراسة إلى تحديد تأثير المجال الكهربائي النبضي الكهربائي والأشعة فوق البنفسجية- ج على نمو بيوفيلم الإشريكية القولونية. يتعرض البيوفيلم لمجال كهربائي نابض مع حقل قوي من ٣ كيلو فولت/سم. ٣، ٥ كيلوفولت/سم؛ و ٣، ٥ كيلو فولت/سم والأشعة فوق البنفسجية- ج بشدة ١٠٠ ميغاواط/سم<sup>٢</sup>؛ ١٨٠ ميغاواط/سم<sup>٢</sup>؛ و ٢٦٠ ميغاواط/سم<sup>٢</sup> مع وقت التعرض من ٥ دقائق؛ ١٠ دقائق؛ ١٥ دقيقة؛ ٢٠ دقيقة؛ و ٢٥ دقيقة. ثم يتم تخفيف الأغشية الحيوية التي تم كشفها وحساب عدد المستعمرات. وأظهرت النتائج أن شدة المجال الكهربائي النبضي، و الأشعة فوق البنفسجية- ج ووقت التعرض كان له تأثير على نمو إيشريشيا كولي بيوفيلم. المثبط الأمثل هو مع قوة المجال الكهربائي من ٣، ٥ كيلو فولت/سم. أوف- ج شدة الضوء من ١٨٠ ميغاواط/سم<sup>٢</sup> لمدة ٢٥ دقيقة مع عدد من المستعمرات النشطة من ٠ كفو/مل. وهذا يشير إلى أن المجالات الكهربائية نابض والأشعة فوق البنفسجية- ج الضوء يمكن استخدامها لمنع نمو إشريكية القولونية الأغشية الحيوية.

# BAB I PENDAHULUAN

## 1.1 Latar Belakang

Kaki merupakan salah satu bagian tubuh yang mudah terkena infeksi akibat bakteri dan jamur (Singal *et al.*, 2011). Infeksi pada kaki juga dapat diakibatkan oleh rasa tidak nyaman karena sepatu yang digunakan terlalu sempit. Sepatu yang sempit dapat melukai kaki sehingga membuatnya terinfeksi. Sepatu yang tidak berventilasi juga cenderung menjadi tempat berkembangbiaknya bakteri serta jamur (Ghannoum *et al.*, 2012). Infeksi dan perkembangbiakan bakteri serta jamur dipengaruhi oleh iklim mikro, suhu, kelembaban (Purim *et al.*, 2005), aktivitas (Sabadin *et al.*, 2011), gaya hidup (Dogen *et al.*, 2013), dan keadaan masing-masing (predisposisi) individu.

Pengaruh suhu dan kelembaban bagi perkembangbiakan bakteri erat hubungannya dengan keringat. Pengeluaran keringat dalam jumlah yang lebih banyak dapat meningkatkan kelembaban, yang tentunya akan berdampak pada mekanisme penguapan keringat (Ladock, 2012). Kelenjar keringat yang terdapat pada kaki yaitu ekrin dan apokrin. Keringat adalah nutrisi bagi bakteri dan metabolisme bakteri menghasilkan bau yang kuat pada kaki, kaos kaki serta sepatu (Ara *et al.*, 2006). Keringat dari kelenjar ekrin bersifat tipis dan berair, sedangkan apokrin menghasilkan keringat yang mengandung protein dan asam amino yang merupakan nutrisi bagi tumbuhnya bakteri. Bakteri itu mendegradasi leusin yang dihasilkan oleh keringat sehingga terbentuk asam isovalerat (Tiran

dkk., 2014), yaitu suatu asam lemak yang menyebabkan bau kaki (Ara *et al.*, 2006).

Bakteri *Escherichia coli* diketahui merupakan salah satu bakteri penyebab bau kaki. Sebuah penelitian mengenai bakteri penyebab bau tersebut telah dilakukan oleh Messina dkk (2015) yaitu dengan mengisolasi sepatu para atlet, bakteri yang ditemukan diantaranya yaitu *Escherichia coli*, *Staphylococcus sp*, *Enterococcus sp*, dan *Pseudomonas sp*. Kontaminan yang disebabkan oleh bakteri jenis gram negatif adalah *Escherichia coli* yaitu sebanyak 232 CFU/mL. Seorang ahli mikrobiologi dari *University of Arizona* juga melakukan penelitian pada sepasang sepatu yang digunakan selama 2 minggu secara terus-menerus tanpa dibersihkan, hasilnya ditemukan bakteri *Escherichia coli* sebanyak 27 % dari 420.000 unit bakteri yang ada.

Langkah utama yang dapat dilakukan untuk mencegah timbulnya masalah bau sepatu adalah dengan menjaga kebersihan, baik pada kaki, kaos kaki maupun sepatu yang digunakan. Sesuai anjuran Allah untuk selalu menjaga kebersihan, sebagaimana sabda Nabi dalam sebuah hadits berikut:

عَنْ سَعْدِ بْنِ أَبِي وَقَاصٍ عَنْ أَبِيهِ عَنِ النَّبِيِّ صَلَّى اللَّهُ عَلَيْهِ وَسَلَّمَ : إِنَّ اللَّهَ طَيِّبٌ يُحِبُّ الطَّيِّبَ نَظِيفٌ يُحِبُّ النَّظَافَةَ كَرِيمٌ يُحِبُّ الْكِرَامَ جَوَادٌ يُحِبُّ الْجُودَ فَتَنَظَّفُوا أَفْنَيْتَكُمْ (رواه الترمذی)

*Hadits di atas diriwayatkan oleh Sa'ad bin Abi Waqash dari Rasulullah SAW Beliau bersabda: "Sesungguhnya Allah SWT itu suci, yang menyukai hal-hal yang suci. Dia Maha Bersih yang menyukai kebersihan. Dia Maha Mulia yang menyukai kemuliaan. Dia Maha Indah yang menyukai keindahan. Karena itu bersihkanlah tempat-tempatmu." (HR. Tirmidzi).*

Jika masalah bau sepatu sudah terjadi, solusi yang biasanya dilakukan yaitu dengan melakukan pencucian dengan deterjen atau juga menggunakan bahan kimia lain yang dapat menghilangkan rasa lembab dan bau pada sepatu tersebut. Bahan kimia yang digunakan dalam sebuah penelitian untuk menyelesaikan masalah timbulnya bau sepatu yaitu bahan guar alami dan etanol dengan pewarna, pemberian aroma, *clotrimazole* dan agen anti jamur. Hasil penelitiannya yaitu dengan menggunakan bahan kimia tersebut dapat menurunkan jumlah koloni bakteri hingga 74 % (Messina dkk., 2015). Kelemahan dari penelitian tersebut yaitu penurunan bakteri yang belum maksimal hingga 100 %, selain itu penggunaan bahan kimia yang terus-menerus akan berdampak buruk bagi lingkungan, oleh karena itu maka perlu dicari solusi untuk mengatasinya, khususnya yang lebih ramah lingkungan. Salah satu solusi yang dapat dilakukan yaitu dengan pemaparan medan listrik berpulsa, karena penggunaan teknik tersebut terbukti dapat menurunkan jumlah koloni bakteri patogen. Penggunaan medan listrik berpulsa akan lebih efektif jika dikombinasikan dengan pemaparan cahaya ultraviolet-C, karena ultraviolet-C diketahui merupakan salah satu sinar yang daya radiasinya bersifat letal bagi mikroorganisme.

Penghambatan pembiakan bakteri menggunakan medan listrik AC didasarkan pada terjadinya elektroporasi pada membran sel bakteri. Efek dari elektroporasi dapat menyebabkan pori menjadi *irreversible* dan *reversible*, tergantung pada intensitasnya. Peristiwa elektroporasi terjadi karena medan listrik menyebabkan pergeseran muatan pada sel bakteri, sehingga muatan-muatan sel tersebut mengalami polarisasi. Selanjutnya polarisasi itu mengakibatkan

terbentuknya pori hidrofilik dan peningkatan tegangan transmembran. Oleh karena tegangan transmembran meningkat maka membran sel menjadi rusak dan dengan adanya pori hidrofilik maka menyebabkan aliran materi intraseluler.

Penelitian mengenai medan listrik berpulsa telah dilakukan oleh Bonetta *S. et al.*, (2010). Sampel yang digunakan adalah bakteri *E. coli* dan *S. aureus* yang ditumbuhkan pada medium kedelai. Uji *E. coli* dengan medan listrik 25 kV/cm, durasi pulsa 1  $\mu$ s, frekuensi pulsa 1 Hz, dan dipapar sebanyak 350 pulsa. Uji *S. aureus* dengan kuat medan listrik 30 kV/cm, durasi pulsa 1  $\mu$ s, frekuensi pulsa 1 Hz, dan dipapar sebanyak 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 yaitu karakterisasi medan listrik yang digunakan sangat besar.

Penelitian lain mengenai medan listrik berpulsa dilakukan oleh Bestari (2015) untuk menghambat pertumbuhan biofilm *Listeria monocytogenes*. Pada hasil penelitian ditemukan bahwa kuat medan listrik berpulsa, lama pemaparan, dan suhu lingkungan berpengaruh dalam menurunkan jumlah koloni bakteri. Penghambatan pertumbuhan bakteri yang optimal yaitu pada kuat medan listrik berpulsa 3,5 kV/cm, lama pemaparan 25 menit dan suhu lingkungan 50 °C dengan jumlah koloni yang aktif sebesar  $0,2 \times 10^8$  CFU/mL.

Sinar ultraviolet diketahui merupakan salah satu sinar dengan daya radiasi yang dapat bersifat letal bagi mikroorganisme. Salah satu sifat sinar ultraviolet adalah memiliki daya penetrasi yang sangat rendah. Oleh karena itu, sinar ultraviolet hanya dapat efektif untuk mengendalikan mikroorganisme pada

permukaan yang terpapar langsung oleh sinar ultraviolet, atau mikroba berada di dekat permukaan medium yang transparan. Absorpsi maksimal sinar ultraviolet di dalam sel terjadi pada asam nukleat, oleh karena itu diperkirakan bahwa mekanisme utama perusakan sel oleh sinar ultraviolet terletak pada ribosom, sehingga mengakibatkan terjadinya mutasi atau kematian sel (Ariyadi dkk., 2009).

Srigede dan Zaetun (2014) melakukan penelitian mengenai “Paparasi Sinar Ultraviolet dengan Pengamatan Waktu Sterilisasi Terhadap Pertumbuhan Bakteri *Bacillus sp*”. Penelitian dilakukan dengan membuat suspensi biakan murni *Bacillus sp* yang setara dengan 0,5 unit *Mc Farland* lalu ditanam di media NAP dan diamati pertumbuhannya berdasarkan lama waktu sterilisasi. Hasil dari penelitiannya yaitu dengan waktu sterilisasi sinar ultraviolet 40 watt selama 30 menit koloni bakteri yang tumbuh sebanyak 412 koloni, dengan waktu sterilisasi selama 60 menit koloni bakteri yang tumbuh sebanyak 250 koloni, dengan waktu sterilisasi selama 90 menit koloni bakteri yang tumbuh sebanyak 101 koloni, dan dengan waktu sterilisasi selama 120 menit terdapat 80 koloni bakteri yang tumbuh. Kelemahan dalam penelitian ini yaitu dengan waktu yang cukup lama, bakteri yang tumbuh relatif banyak.

Penelitian yang sama mengenai sinar ultraviolet dilakukan oleh Ariyadi dan Sinto (2009) tentang “Pengaruh Sinar Ultraviolet Terhadap Pertumbuhan Bakteri *Bacillus sp* Sebagai Bakteri Kontaminan”. Penelitian ini dilakukan dengan mengambil satu ose biakan dari bakteri *Bacillus sp* dan dibuat suspensi dengan kepadatan sebesar 2 *Mc Farland* kemudian dipapari sinar ultraviolet 38 watt dengan jarak 45 cm selama 1 menit, 5 menit, 10 menit, dan 15 menit. Hasilnya

yaitu dengan penyinaran selama 10 menit dan 15 menit dapat membunuh bakteri 100 % sehingga tidak ada koloni yang tumbuh. Kelemahan yang dapat ditemukan dalam penelitian ini yaitu daya yang digunakan sangat besar.

Berdasarkan penjelasan tersebut, maka akan dilakukan penelitian berjudul “Pengaruh Medan Listrik Berpulsa dan Cahaya Ultraviolet-C terhadap Pertumbuhan Biofilm *Escherichia coli*” dengan harapan dapat menjadi solusi alternatif dalam menyelesaikan masalah bau sepatu.

### 1.2 Rumusan Masalah

- a. Bagaimana pengaruh medan listrik berpulsa terhadap pertumbuhan jumlah bakteri *Escherichia coli*?
- b. Bagaimana pengaruh medan listrik berpulsa dan cahaya ultraviolet-C terhadap pertumbuhan jumlah bakteri *Escherichia coli*?
- c. Bagaimana pengaruh waktu pemaparan medan listrik berpulsa dan cahaya ultraviolet-C terhadap pertumbuhan jumlah bakteri *Escherichia coli*?

### 1.3 Tujuan

- a. Untuk mengetahui pengaruh medan listrik berpulsa terhadap pertumbuhan jumlah bakteri *Escherichia coli*.
- b. Untuk mengetahui pengaruh medan listrik berpulsa dan cahaya ultraviolet-C terhadap pertumbuhan jumlah bakteri *Escherichia coli*.
- c. Untuk mengetahui pengaruh waktu pemaparan medan listrik berpulsa dan cahaya ultraviolet-C terhadap pertumbuhan jumlah bakteri *Escherichia coli*.

#### 1.4 Manfaat Penelitian

- a. Memberi solusi alternatif dalam masalah mengurangi bakteri patogen pada sepatu.
- b. Mencegah bau sepatu yang diakibatkan oleh bakteri *Escherichia coli*.

#### 1.5 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini yaitu pada pembahasan mengenai pengaruh perlakuan medan listrik berpulsa dan cahaya ultraviolet-C terhadap pertumbuhan bakteri *Escherichia coli*.





## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Medan Listrik

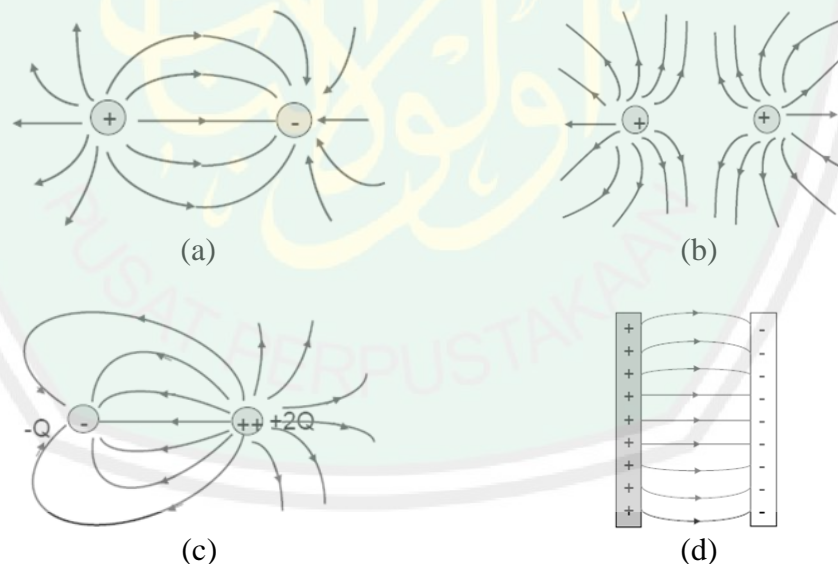
Medan adalah suatu besaran yang mempunyai harga pada tiap titik dalam ruang. Secara matematis dapat dikatakan bahwa medan adalah sesuatu yang merupakan fungsi kontinu dari posisi dalam ruang (Sutrisno, 1979). Medan listrik  $E$  di setiap titik pada ruang didefinisikan sebagai gaya  $F$  yang diberikan pada muatan positif yang kecil pada titik tersebut dibagi dengan besar muatan  $q$  (Giancoli, 2001):

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

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 memiliki satuan N/C atau dibaca Newton/Coulomb. Sedangkan gaya listrik adalah gaya yang dialami oleh obyek bermuatan yang berada dalam medan listrik. Jadi suatu titik dikatakan berada dalam medan listrik apabila suatu benda yang bermuatan listrik ditempatkan pada titik tersebut akan mengalami gaya listrik (Soedoyo, 1999).

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 listiknya 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).

Sebuah garis medan listrik (*electric field line*) adalah sebuah garis khayal yang digambarkan melalui sebuah daerah ruang sehingga garis singgungnya di setiap titik adalah dalam arah vektor medan listrik di titik itu. Ilmuwan Inggris Michael Faraday (1791-1867) pertama kali memperkenalkan konsep garis medan. Garis-garis medan listrik memperlihatkan bahwa arah  $E$  di setiap titik, dan jarak antara garis-garis medan listrik itu memberikan sebuah pemikiran umum mengenai besarnya  $E$ . Bila  $E$  kuat maka garis-garis yang terkumpul sangat rapat, jika lemah maka garis-garisnya lebih renggang. Di seberang titik tertentu, medan listrik itu mempunyai arah yang unik, sehingga hanya ada satu garis medan yang dapat lewat melalui setiap titik medan itu. Dengan kata lain, garis-garis medan tidak pernah berpotongan (Young dan Freedman, 2004).



Gambar 2.1 Garis-Garis Medan Listrik untuk Empat Muatan (Giancoli, 2001)

Gambar 2.1(a) menunjukkan garis-garis medan listrik yang mengelilingi kedua muatan yang berlawanan. Garis-garis medan listrik dalam hal ini dilengkungkan dan berarah dari muatan positif ke muatan negatif. Arah medan

pada titik manapun mengarah secara tangensial sebagaimana ditunjukkan oleh anak panah pada titik P. Gambar 2.1(b) dan (c) menunjukkan garis-garis medan listrik yang mengelilingi dua muatan positif yang sama (b), dan (c) untuk muatan yang tidak sama. Pada gambar 2.1(d) yaitu medan antara dua pelat paralel yang muatannya berlawanan, garis-garis medan antara kedua pelat adalah paralel dan berjarak sama, kecuali di dekat tepi (Giancoli, 2001).

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

$$W = qV_{ba} \quad (2.2)$$

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

$$W = Fd = qEd \quad (2.3)$$

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

$$\begin{aligned} qV_{ba} &= qEd \\ V_{ba} &= Ed \\ E &= V_{ba}/d \end{aligned} \quad (2.4)$$

### 2.1.1 Kuat Medan Listrik dalam Pelat Sejajar

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

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

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

$$\vec{E} = \vec{E}_A + \vec{E}_B = -\hat{i} \frac{\sigma}{2\epsilon_0} + \hat{i} \frac{\sigma}{2\epsilon_0} = 0 \quad (2.5)$$

Di dalam pelat sejajar, kuat medan adalah:

$$\vec{E} = \vec{E}_A + \vec{E}_B = +\hat{i} \frac{\sigma}{2\epsilon_0} + \hat{i} \frac{\sigma}{2\epsilon_0} = +\hat{i} \frac{\sigma}{\epsilon_0} \quad (2.6)$$

Di sebelah kanan pelat sejajar adalah:

$$\vec{E} = \vec{E}_A + \vec{E}_B = +\hat{i} \frac{\sigma}{2\epsilon_0} - \hat{i} \frac{\sigma}{2\epsilon_0} = 0 \quad (2.7)$$

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

### 2.1.2 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 di luar sel dapat masuk ke dalam sel. Bilamana jari-jari luar membran plasma adalah  $a$  dan jari-jari dalamnya  $b$ , dengan paparan membran 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 centimeter*,  $\theta$  adalah sudut antara arah medan dengan sel.

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

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

Dimana

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

Sedangkan  $\omega = 2\pi f$  dan  $f$  adalah frekuensi medan listrik yang diterapkan,  $C_{memb}$ ,  $\rho_{in}$ , dan  $\rho_{ext}$  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):

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

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):

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

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

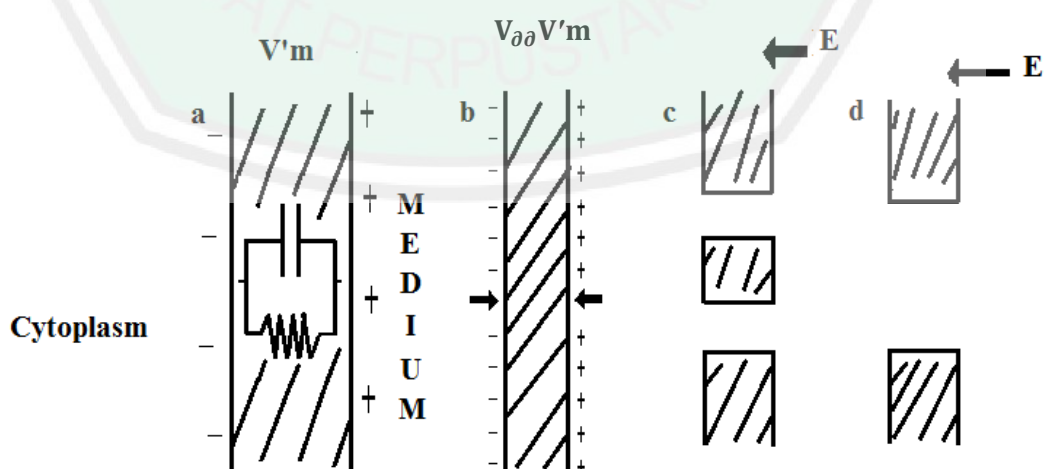
Dimana  $E$  adalah kuat medan listrik,  $a$  radius sel,  $\tau$  waktu atom terpolarisasi penuh atau waktu relaksasi,  $t$  durasi pulsa,  $C$  kapasitansi membran, dan  $r_i$  dan  $r_e$  berturut-turut adalah resistansi intra dan ekstra seluler.

### 2.1.3 Efek Biologis Bakteri yang Dipapari Medan Listrik

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

Peningkatan potensial transmembran pada sel membran *lipid bilayer* dan protein akan memengaruhi tegangan membran yang menyebabkan porositas. Apabila peningkatan potensial transmembran tersebut mencapai ambang kritis diantara dinding membran dapat terjadi reduksi ketebalan sehingga memungkinkan terjadi kerusakan pada membran sel bakteri (Fang, 2006). Sehingga pada akhirnya akan menimbulkan lubang-lubang kecil (bocor) dan kontraksi sehingga cairan tubuh akan keluar.

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*.

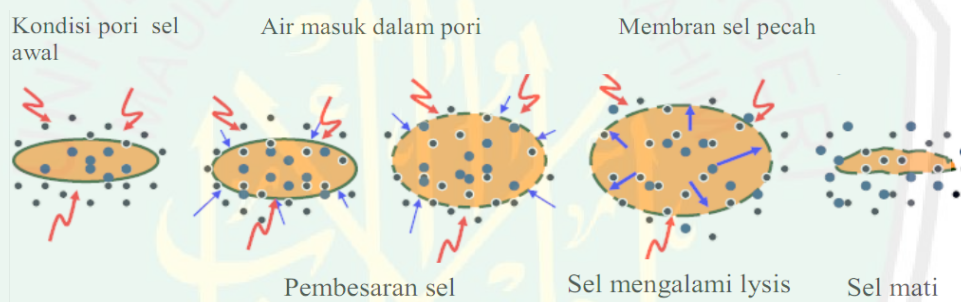


Gambar 2.2 Diagram Perusakan Membran Sel (Apriliawan, 2012)

Keterangan:

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

Elektroporasi adalah peristiwa destabilisasi membran sel karena adanya pengaruh medan pulsa tegangan listrik sesaat (Castro *et al.*, 1993). Destabilisasi dinding sel diawali dari terjadinya gejala meningkatnya permeabilitas dinding sel lalu diikuti oleh penggelembungan dinding sel dan akhirnya terjadi kerapuhan membran sel seperti ditunjukkan pada gambar 2.3 (Vega-Mercado *et al.*, 1996):



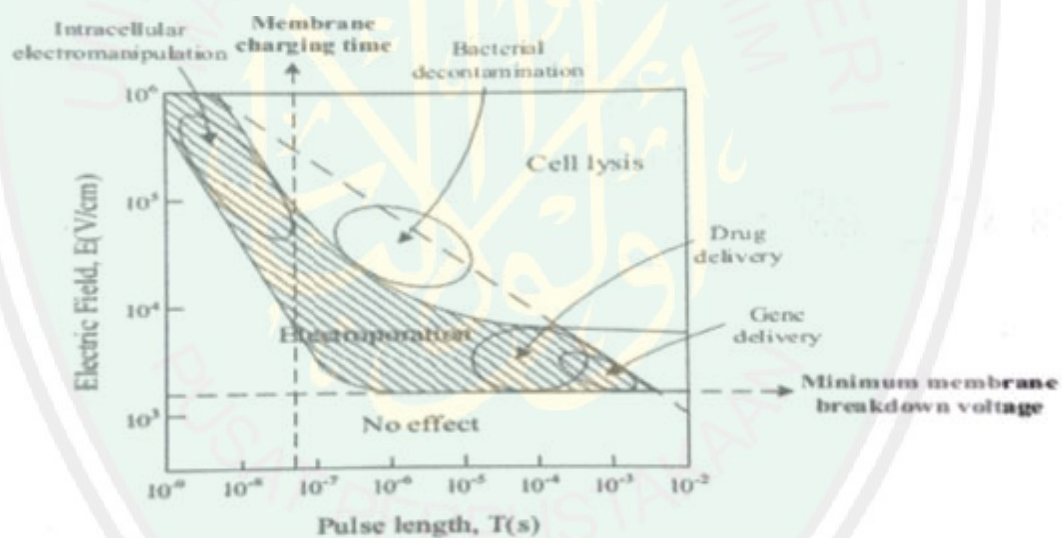
Gambar 2.3 Elektroporasi Membran Sel (Hariono, 2012)

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) (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, isi serta sifat fisik dan kimia lainnya (Wang, 2009). Hubungan antara dua parameter dasar yaitu kuat medan dan panjang pulsa, ditunjukkan pada gambar 2.4.



Gambar 2.4 Kisaran Parameter untuk Aplikasi *Bioelectric* (medan listrik  $E$ -panjang pulsa  $T$ ) (Wang, 2009)

Seperti yang ditunjukkan dalam gambar 2.4 bahwa di kisaran medan listrik kecil-durasi pulsa ( $E$ - $T$ ), *poration* tidak akan terjadi. Dengan meningkatnya intensitas medan atau durasi paparan, yang mendekati kisaran dimana efek yang lebih jelas diharapkan, perubahan suhu masih ditoleransi. Ketika  $E$ - $T$  meningkat ke dosis vital, sel-sel di bawah paparan bisa terbunuh dan itu adalah wilayah sel

lisis (Wang, 2009).

Selain perbedaan hasil E-T, perbedaan aplikasi membutuhkan kerja dalam daerah yang berbeda dari peta E-T ini. Untuk aplikasi medis, kisaran dari panjang pulsa dan medan listrik rendah di sebelah kanan dari gambar 2.4 adalah rentang operasi yang lebih disukai. Khususnya, transfeksi gen terjadi dengan parameter *pulsed power* di paling kanan, durasi pulsa di kisaran mikrodetik (biasanya 20 ms), dan amplitudo medan listrik di urutan 100 V/cm. *Electrochemotherapy* (pemberian obat) membutuhkan medan listrik yang lebih tinggi (kilovolt per sentimeter) dan pulsa pendek ( $> 10 \mu\text{s}$ ). Dekontaminasi bakteri membutuhkan durasi pulsa di dekat kisaran mikrodetik, beroperasi pada medan listrik dari 10 sampai lebih dari 100 kV/cm (Wang, 2009).

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

#### **2.1.4 Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Medan Listrik dalam Inaktivasi Mikroba**

Menurut Martin Et Al-San (2003), terdapat empat faktor utama yang dapat berpengaruh dalam inaktivasi mikroba yaitu:

## 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, dimana 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. Akibat suhu dinaikkan, terjadi peningkatan energi kinetik rata-rata dari ion, yang menyebabkan perubahan dalam membran sel fluiditas dan permeabilitas.

## 2.2 Cahaya Ultraviolet

Faraday pada tahun 1847 mengusulkan bahwa cahaya adalah getaran elektromagnetik berfrekuensi tinggi yang dapat bertahan walaupun tidak ada

medium. Hal ini didasarkan pada percobaan dengan melewati sebuah sinar cahaya pada materi pemolarisasi yang dapat diubah oleh medan magnet. Kemudian pada akhir abad ke-19 James Clerk Maxwell, menyebutkan bahwa gelombang cahaya adalah gelombang elektromagnet sehingga tidak memerlukan medium untuk merambat. Dari teori Maxwell ini, cahaya dapat dibangkitkan oleh medan magnet dan medan listrik, persamaan medan magnet dan medan listrik sebagaimana persamaan (2.14) dan (2.15). Gelombang elektromagnet dapat merambat dengan atau tanpa zat perantara. Pernyataan ini didukung oleh penemuan-penemuan yang dilakukan oleh Frank Hertz (1857-1894) yang secara eksperimental ditemukannya sinar x, gelombang mikro, sinar gamma, dan yang lainnya (Murtono, 2008).

$$\nabla \times \mathbf{E} = -\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} \quad (2.14)$$

$$\nabla \times \frac{\mathbf{B}}{\mu_0} = \epsilon_0 \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t} + \frac{\partial \mathbf{P}}{\partial t} + \mathbf{J}_{\text{free}} \quad (2.15)$$

Ultraviolet merupakan suatu bagian dari spektrum elektromagnetik dan tidak membutuhkan medium untuk merambat. Ultraviolet mempunyai rentang panjang gelombang antara 400-100 nm yang berada di antara spektrum sinar X dan cahaya tampak (EPA, 1999). UV-A pada rentang 315-400 nm, UV-B pada rentang 280-315 nm, UV-C pada rentang 200-280 nm, serta UV-vakum pada rentang 100-200 nm yang dapat diserap oleh semua bahan dan dapat diteruskan hanya pada kondisi vakum (Koutchma *et al.*, 2009).

Firman Allah SWT dalam al-Qur'an surat Yunus (10): 5

هُوَ الَّذِي جَعَلَ الشَّمْسُ ضِيَاءً وَالْقَمَرَ نُورًا وَقَدَّرَهُ مَنَازِلَ لِتَعْلَمُوا عَدَدَ السِّنِينَ وَالْحِسَابَ مَا خَلَقَ اللَّهُ ذَلِكَ إِلَّا بِالْحَقِّ يُفَصِّلُ الْآيَاتِ لِقَوْمٍ يَعْلَمُونَ ﴿٥﴾

“Dialah yang menjadikan matahari bersinar dan bulan bercahaya, dan Dialah yang menetapkan tempat-tempat orbitnya, agar kamu mengetahui bilangan tahun, dan perhitungan (waktu). Allah tidak menciptakan yang demikian itu melainkan dengan benar. Dia menjelaskan tanda-tanda (kebesaran-Nya) kepada orang-orang yang mengetahui.” (Q.S. Yunus (10): 5).

Indikasi ilmiah dari ayat di atas menjelaskan bahwa semua cahaya berasal dari energi matahari. Indikasi ini berdasarkan dari kata yang mempunyai makna “sesuatu yang terang” dalam hal ini adalah matahari (Al-Maraghi, 1993). Zaqhloul (2010) menyatakan bahwa sinar matahari merupakan gelombang spektrum elektromagnetik yang terpendek (sinar gamma) sampai yang terpanjang (gelombang radio), dimana pada umumnya sinar yang tak terlihat mata dan saling bertautan antar sesamanya. Oleh karena itu, sinar putih tidak dapat dilihat kecuali setelah sejumlah proses pemantulan dan terurainya sinar matahari pada jutaan partikel benda padat, cair dan gas yang terdapat pada permukaan bagian atas atmosfer seperti molekul debu, uap dan lain sebagainya.

### 2.2.1 Intensitas Cahaya Ultraviolet

Intensitas cahaya (I) dengan satuan candela (cd) adalah arus cahaya dalam lumen yang diemisikan setiap sudut ruang (pada arah tertentu) oleh sebuah sumber cahaya. Kata candela berasal dari kata *candle* (lilin) merupakan satuan tertua pada teknik penerangan dan diukur berdasarkan intensitas cahaya standar. Intensitas cahaya (*luminous intensity*) adalah kuat cahaya yang dikeluarkan oleh sebuah sumber cahaya ke arah tertentu, diukur dengan Candela (Satwiko, 2004).

Intensitas penerangan atau luminansi di suatu bidang kerja, yaitu fluks cahaya yang jatuh pada  $m^2$  dari bidang itu. Satuan untuk intensitas penerangan adalah *lux (lx)*, dengan lambang E, maka  $1 \text{ lux} = 1 \text{ lumen/m}^2$ . Jika suatu bidang yang mempunyai luas A  $m^2$ . Alat yang digunakan untuk mengukur intensitas cahaya yaitu luxmeter. Bagian luxmeter yang peka terhadap cahaya diarahkan pada pantulan datangnya cahaya, dan besarnya intensitas dapat dilihat pada skala. Luxmeter bekerja dengan sensor cahaya (Wijayanto dkk, 2012).

Luxmeter merupakan instrumen portabel untuk mengukur penerangan sebuah jenis fotometer. Luxmeter paling sederhana terdiri dari foto sel selenium yang mengubah energi cahaya ke energi dari sebuah arus listrik, yang diukur oleh mikrometer pointer-tipe dengan skala dikalibrasi di luxes (lx). Skala yang berbeda-beda sesuai dengan rentang yang berbeda dari cahaya yang sedang diukur (Lastriyanto dkk, 2011).

John Henry Poynting (1852-1914) telah mengembangkan teori yang menjelaskan tentang transpor energi cahaya. Teori tersebut dinamakan dengan torema pointing, yang diturunkan dari persamaan Maxwell (2.14) dan (2.15). Intensitas gelombang elektromagnetik atau laju energi yang dipindahkan melalui gelombang elektromagnetik disebut dengan pointing. Secara vektor, pointing dijelaskan sebagai berikut (Peatross dan Ware, 2008):

$$S \equiv E \times \frac{B}{\mu_0} \quad (2.16)$$

Keterangan:

- S = Laju energi per satuan luas ( $W/m^2$ )
- E = Medan listrik (kV/m)
- B = Kuat medan magnet (Weber/ $m^2$ )
- $\mu_0$  = Permeabilitas ( $4\pi \times 10^{-7} \text{ Wb/Am}$ )

dimana:

$$E = \frac{1}{2} [E_0 e^{i(k \cdot r - \omega t)} + E_0^* e^{-i(k \cdot r - \omega t)}] \quad (2.17)$$

$$B = \frac{1}{2} \left[ \frac{k \times E_0}{\omega} e^{i(k \cdot r - \omega t)} + \frac{k \times E_0^*}{\omega} e^{-i(k \cdot r - \omega t)} \right] \quad (2.18)$$

Keterangan:

- E = Medan listrik (kV/m)
- B = Kuat medan magnet (Weber/m<sup>2</sup>)
- k = Ketetapan gelombang (m<sup>-1</sup>)
- r = Jarak titik ke sumber (m)
- $\omega$  = Frekuensi sudut (rad/s)

Vektor pointing rata-rata per satuan waktu diperoleh dengan substitusi persamaan (2.16), (2.17), dan (2.18), yaitu (Peatross dan Ware, 2008):

$$\langle S \rangle_t = \hat{u} \frac{n \epsilon_0 c}{2} (|E_{0x}|^2 + |E_{0y}|^2 + |E_{0z}|^2) e^{-2 \frac{k\omega}{c} \hat{u} \cdot r} \quad (2.19)$$

Vektor pointing juga menunjukkan arah rambat gelombang. Persamaan di atas menunjukkan bahwa arah rambat gelombang bergerak pada arah  $\hat{u}$ . Pada gelombang elektromagnetik  $-2 \frac{k\omega}{c} \hat{u} \cdot r \cong 0$ , sehingga secara umum intensitas cahaya dapat dituliskan dengan persamaan (Peatross dan Ware, 2008):

$$I = \frac{n \epsilon_0 c}{2} E_0 \cdot E_0^* = \frac{n \epsilon_0 c}{2} (|E_{0x}|^2 + |E_{0y}|^2 + |E_{0z}|^2) \quad (2.20)$$

Keterangan:

- I = Intensitas cahaya (W/cm<sup>2</sup>)
- n = Indeks bias
- $\epsilon_0$  = Permittivitas (F/m)
- c = Cepat rambat cahaya ( $3 \times 10^8$ )

### 2.2.2 Interaksi Cahaya terhadap Sel Bakteri

Keadaan energi pada molekul akan terkuantisasi, oleh karena itu absorpsi foton hanya akan terjadi saat energinya  $E = h\nu$ , sesuai dengan perbedaan energi antara daerah yang terkuantisasi. Absorpsi foton oleh jaringan menyebabkan

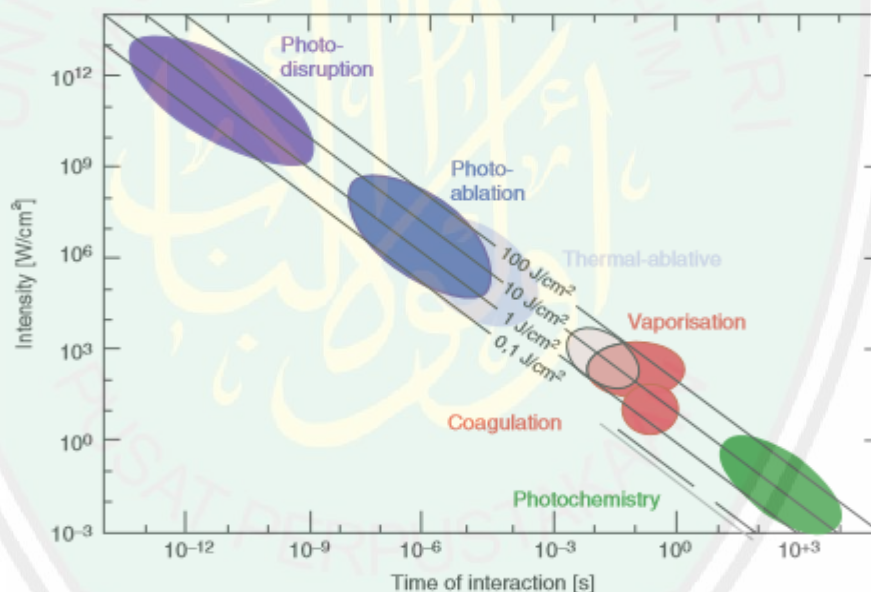


perubahan terkuantisasi pada jarak antara muatan. Komponen molekul yang diserap oleh jaringan yaitu *deoxyribonucleic acid* (DNA) dan *ribonucleic acid* (RNA)(Steiner, 2011). Secara eksperimen, jika sinar laser dilewatkan penyerap setebal  $x$  maka intensitasnya berkurang secara eksponensial dengan bertambahnya ketebalan penyerap, secara matematik dapat ditulis:

$$I = I_0^{-\alpha x} \quad (2.21)$$

Keterangan:

- $I$  = Intensitas cahaya ( $\text{W}/\text{cm}^2$ )
- $I_0$  = Intensitas yang lewat dengan ketebalan nol ( $\text{W}/\text{cm}^2$ )
- $\alpha$  = Koefisien penyerap ( $\text{m}^{-1}$ )
- $x$  = Tebal penyerap (m)



Gambar 2.5 Efek-Efek Cahaya Terhadap Sel Bakteri (Boulnois, 1986)

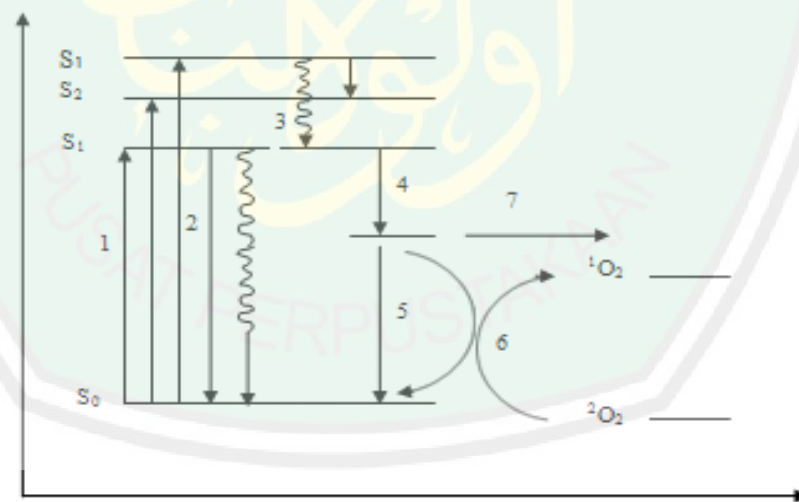
Banyaknya energi foton yang diterima oleh sel atau jaringan selama absorpsi akan mempengaruhi proses metabolisme seluler. Pengaruh tersebut akan menimbulkan efek yang berbeda-beda, bergantung pada banyaknya intensitas energi foton dan waktu yang diterima oleh sel ataupun jaringan, sesuai gambar 2.5 (Hawkins-Evans, 2009):

- a. Fotokimia: waktu  $10^0$ - $10^{+3}$  s ; intensitas  $10^{-3}$ - $10^0$  W/cm<sup>2</sup>
- b. Vaporisasi dan Koagulasi: waktu  $10^{-3}$ - $10^0$  s ; intensitas  $10^0$ - $10^3$  W/cm<sup>2</sup>
- c. Ablasi-termal dan Fotoablasi: waktu  $10^{-9}$ - $10^{-3}$  s ; intensitas  $10^3$ - $10^9$ W/cm<sup>2</sup>
- d. *Photodisruption*: waktu  $10^{-13}$ - $10^{-9}$  s ; intensitas  $10^9$ - $10^{13}$  W/cm<sup>2</sup>

Fotokimia adalah ilmu yang mempelajari reaksi-reaksi kimia yang diinduksi oleh sinar secara langsung maupun tidak langsung. Reaksi termal biasa yang berlangsung dalam gelap memperoleh energi pengaktifnya melalui tumbukan antar molekul yang acak dan berurutan. Reaksi fotokimia menerima energi pengaktifnya dari penyerapan foton cahaya oleh molekul-molekulnya. Karena itu reaksi ini kemungkinan memberikan reaksi tertentu saja. Jadi tahap pengaktifan dalam reaksi fotokimia cukup berbeda dan lebih selektif dibandingkan pengaktifan reaksi termal (termal). Keadaan elektronik molekul yang tereksitasi mempunyai energi dan distribusi elektron yang berbeda dari keadaan dasar, sehingga sifat kimianya pun berbeda (Rahmi, 2013).

Secara singkat, proses fotokimia adalah penggunaan cahaya sebagai energi aktivasi reaksi kimia yang terjadi. Efek kimia laser terjadi terutama di band ultraviolet, beberapa terjadi di band biru-hijau karena karakteristik penyerapan spektrum makro molekul biologis ditentukan. Seperti purin, pirimidin nukleotida, asam nukleat, vitamin A, vitamin B, vitamin D, vitamin E, riboflavin, asam amino, peptida, protein dan zat lain di puncak penyerapan spektrum pada rentang panjang gelombang 260-371 nm, dan sitokrom, mengurangi hemoglobin, oksidase, karoten, melanin, melanin jenis rhodopsin dan zat lain di puncak penyerapan panjang gelombang utama 400-550 nm (Rahmi, 2013).

Mekanisme *Photodynamic Therapy* (PDT) mempunyai berbagai macam proses. Pada gambar 2.6 menggambarkan mekanisme cahaya terhadap sel bakteri. Cahaya yang dipancarkan akan diserap oleh elektron (molekul) untuk membangkitkan dalam keadaan pertama dan kemudian sistem dalam memotong pada keadaan triplet. Dalam proses ini, fluoresensi diserap dari keadaan pertama ke keadaan dasar dan energi bisa dihilangkan melalui kerusakan bukan radiasi. Dari keadaan triplet, energi yang hilang akan menghasilkan pancaran sinar atau radiasi fosforesensi dengan waktu hidup yang lama (mikrodetik), kemudian energi tersebut dilanjutkan kepada oksigen terdekat untuk menghasilkan jenis reaksi oksigen dan sebagian dari energi yang lain akan mengalami proses efek fotokimia, dimana dalam proses fotokimia tersebut membran sel akan membengkak dan setelah itu pecah (Suryani, 2011):



Gambar 2.6 Mekanisme Cahaya Terhadap Sel Bakteri (You *et al.*, 2013)

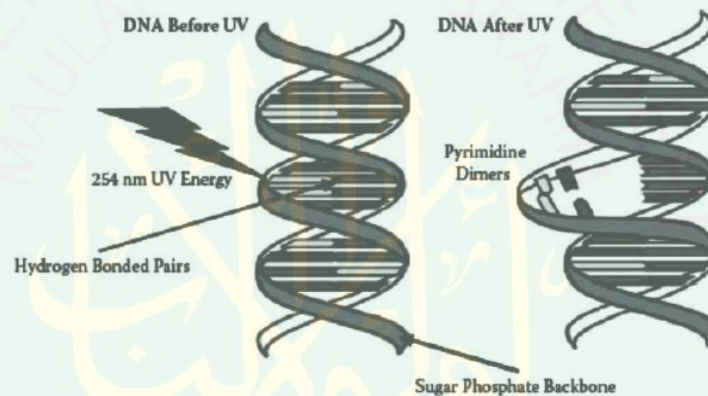
Mekanisme reaksi fotokimia pada molekul umumnya terjadi melalui (Suryani, 2011):

1. Molekul yang tereksitasi secara optis bereaksi secara langsung dengan substrat seperti membran sel atau molekul, dan mentransfer sebuah proton atau elektron membentuk anion atau kation radikal. Radikal ini akan bereaksi dengan oksigen menghasilkan oksigenreaktif (ROS). Superoksida anion yang terbentuk akan bereaksi dengan substrat menghasilkan hidrogen peroksida ( $H_2O_2$ ). Pada konsentrasi tinggi hidrogen peroksida bereaksi dengan superoksida anion membentuk hidroksil radikal (reaksi Haber Weiss) yang dengan mudah berdifusi melalui membran dan merusak sel.
2. Keadaan triplet dapat mentransfer energinya secara langsung pada molekul oksigen yang berada pada keadaan eksitasi triplet membentuk oksigen singlet ( $^1O_2$ ) terkesitasi. Pada keadaan dasar, kebanyakan molekul organik memiliki semua pasangan spin elektron. Selama transisi elektronik, ketika elektron mengalami eksitasi ke tingkat energi yang lebih tinggi, elektron menjadi orbital yang tidak berpasangan. Spin mereka diorientasikan dalam bentuk anti paralel atau paralel yang lain.

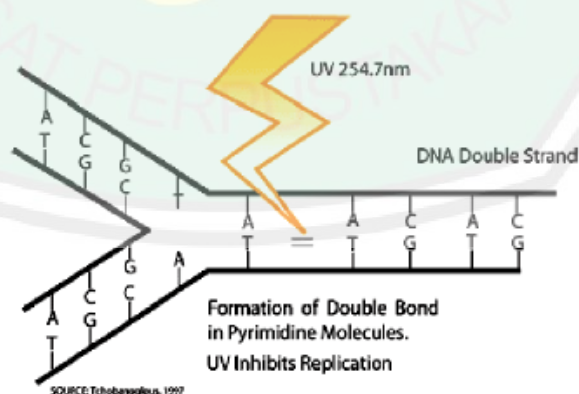
### 2.2.3 Mekanisme Ultraviolet dalam Inaktivasi Bakteri

Mekanisme inaktivasi mikroorganisme oleh sinar UV dengan cara merusak asam nukleat sehingga mencegah replikasi mikroorganisme. Inti sel dikomposisi oleh rantai ganda DNA, yang diperlukan untuk sintesis ribosomal, transfer dan messenger RNA, yang bertanggungjawab pada proses sintesis dalam sel. DNA dan RNA merupakan polimer yang panjang terdiri dari kombinasi empat nukleotida. Nukleotida DNA tersusun atas pirimidin, purin, adenin dan guanidin, timin dan sitosin. Nukleotida RNA terdiri atas purin, adenin, guanin dan

pirimidin, urasil dan sitosin. Asam nukleat merupakan untaian ganda dengan nukleotida rantai satu komplementer dengan lainnya. Adenin berpasangan dengan timin dalam DNA dan berpasangan dengan urasil pada RNA, sementara guanidin berpasangan dengan sitosin. Ikatan yang membentuk kedua pasangan adalah ikatan hidrogen. Setiap nukleotida bisa pecah menjadi dua bagian yaitu gula fosfat dan basa nitrogen. Mekanisme inaktivasi ultraviolet terhadap DNA dan RNA menghasilkan dimer pirimidin seperti gambar berikut (Hariono, 2012).



Gambar 2.7 Struktur DNA yang Pecah Karena Terpapar Sinar UV (Koutchma *et al.*, 2009)



Gambar 2.8 Efek Sinar UV-C pada DNA (Atilgan, 2007)

Asam nukleat mengabsorpsi sinar UV pada kisaran panjang gelombang 200 hingga 310 nm, akan mengganggu struktur DNA dan RNA yang mendorong terjadinya kerusakan yang diawali dengan pembentukan dimer pirimidin, yaitu dengan membentuk ikatan antara pasangan timin atau sitosin-pirimidin yang berdekatan pada untai DNA atau RNA yang sama. Dimer ini mencegah mikroorganisme bereplikasi sehingga tidak aktif dan tidak mampu menginfeksi.

Paparan sinar UV mengganggu replikasi mikroorganisme, hal ini dikarenakan paparan sinar UV menyebabkan gangguan DNA dengan membentuk dimer timin yang mencegah transkripsi dan replikasi DNA (Guerrero-Beltran dan Barbosa-Canovas, 2004). Kondisi ini merangsang sistem perbaikan yang cenderung salah dalam mereplikasi sel melalui DNA yang rusak, sehingga terjadi mutasi sel. Penyerapan sinar UV menyebabkan terjadinya modifikasi kimiawi nukleo protein dan menimbulkan hubungan silang antara pasangan-pasangan molekul timin. Hubungan ini menimbulkan salah baca dari kode genetika yang mengakibatkan mutasi yang akan merusak atau memperlemah fungsi vital organisme (Waluyo, 2008).

### 2.3 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 (Chapbell,

dalam al-Qur'an secara tersirat Allah SWT telah menjelaskan tentang keberadaan mikroorganisme dan bakteri.

وَمَا ذَرَأَّا لَكُمْ فِي الْأَرْضِ مُخْتَلِفًا أَلْوَانُهُ إِنَّ فِي ذَلِكَ لَآيَةً لِّقَوْمٍ يَذَّكَّرُونَ ﴿١٣﴾

“Dan (Dia juga mengendalikan) apa yang Dia ciptakan untukmu di bumi ini dengan berbagai jenis dan macam warnanya. Sungguh, pada yang demikian itu benar-benar terdapat tanda (kebesaran Allah) bagi kaum yang mengambil pelajaran.” (Q.S. an-Nahl (16): 13).

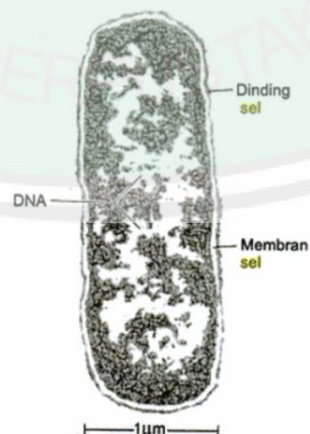
Kalimat yang mengandung arti “Dan (Dia juga mengendalikan) apa yang Dia ciptakan untukmu di bumi ini, yakni hewan, tumbuh-tumbuhan dan sebagainya dengan berlain-lainan macamnya” (Jalaluddin, 2010), dari kalimat tersebut tersirat bahwa Allah SWT telah menciptakan makhluk yang beraneka ragam mulai dari yang dapat terlihat oleh mata langsung maupun makhluk yang tidak dilihat oleh mata secara langsung, seperti bakteri. Bakteri merupakan organisme prokariotik. Umumnya ukuran bakteri sangat kecil, bentuk tubuh bakteri baru dapat dilihat menggunakan mikroskop dengan pembesaran 1.000 X atau lebih (Waluyo, 2004).



Gambar 2.9 Morfologi Bakteri *Escherichia coli* (Feng, et. al., 2002)

Kingdom : *Bacteria*  
Filum : *Proteobacteria*  
Kelas : *Gamma Proteobacteria*  
Ordo : *Enterobacteriales*  
Familia : *Enterobacteriaceae*  
Genus : *Escherichia*  
Species : *Escherichia coli*(Todar, 2008)

*E. coli* merupakan bakteri gram negatif yang berbentuk batang, termasuk dalam famili enterobakteria, anaerobik fakultatif, cenderung bersifat patogen bagi hewan dan manusia, tidak membentuk spora, fermentatif serta biasanya motil (Lay dan Hastowo, 1992). *E. coli* berukuran 1.1-1.5 x 2.0-6.0  $\mu\text{m}$  (Rhea, 2008). Kisaran suhu pertumbuhan *E. coli* adalah antara 10-40  $^{\circ}\text{C}$  dengan suhu optimum 30  $^{\circ}\text{C}$ . Kisaran pH antara 7.0-7.5 dengan nilai  $a_w$  minimum untuk pertumbuhan adalah 0.96 (Fardiaz, 1992).



Gambar 2.10 Struktur Sel Bakteri *Escherichia coli* (Marks *et al.*, 1996)



Sel bakteri memiliki suatu membran yang mengelilingi sitoplasma (Gambar 2.10). Di sebelah luar membran ini terdapat dinding sel yang terdiri dari polisakarida rantai panjang yang membentuk perisai protektif di permukaan sel. Bahan genetik (DNA) terkonsentrasi di bagian tengah sel, yang dikenal sebagai nukleoid dan bukan nukleus karena tidak dipisahkan dari bagian sel lainnya oleh suatu membran (Marks *et al.*, 1996)

Dinding sel bakteri relatif tebal dan kaku terletak di sebelah luar membran sitoplasma, berfungsi melindungi membran sitoplasma yang rapuh dan menjaga bentuk sel bakteri. Semua dinding sel bakteri mempunyai komponen struktural yang sama dinamakan mukopolisakarida dinding sel yaitu peptidoglikan (muriein) (Moat dan Foster, 1988). Komponen dinding sel memberikan kekakuan yang diperlukan untuk mempertahankan keutuhan sel. Peptidoglikan adalah molekul yang sangat besar meliputi seluruh sel, tersusun dari N-asetilglukosamin dan asam N-asetilmuramat serta beberapa asam amino L-alanin, D-alanin, D-glutamat dan lisin atau asam diamino pimelat (ADP). Asam amino ini menempel pada N-asetilmuramat yang bisa berbeda untuk setiap organisme. Struktur peptidoglikan ini hanya terdapat pada sel prokariot, N-asetilmuramat tidak pernah ditemukan pada sel eukariot (Fardiaz, 1989).

Protein merupakan komponen utama dari dinding sel (60-80 %), yang dikelompokkan menjadi protein perifer (protein dekat membran berikatan secara elektrostatis atau interaksi hidrofobik) dan protein integral (protein yang sebagian melekat pada membran dan sebagian muncul pada permukaan membran (Beuchat, 1978).

Ribosoma merupakan komponen penting untuk proses sintesa protein dalam sel, terdiri 60 % RNA dan 40 % protein (Fardiaz, 1989). Ribosom terletak di dalam sel dan mengisi sitoplasma dengan bobot mencapai 50 % dari bobot sel. Kapsul merupakan komponen berlendir yang kompak mengelilingi permukaan sel, jika komponen tersebut tidak terlalu kompak dan mudah lepas disebut lapisan lendir. Kapsul dan lapisan lendir ini terdiri dari polisakarida, polipeptida atau kompleks polisakarida protein. Pembentukan kapsul oleh bakteri dipengaruhi medium pertumbuhan dan kondisi lingkungan. Pembentukan kapsul oleh bakteri dapat meningkatkan ketahanan bakteri terhadap panas, bahan kimia maupun sel fagosit jika sel tersebut masuk ke dalam tubuh (Fardiaz, 1989).

#### **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 ekstraseluler. 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. Bakteri yang melekat ini akan membentuk mikro koloni, yang akan mengatur perkembangan membentuk biofilm (Dearcon, 1997).

Biofilm merupakan bentuk dari pola hidup multiseluler mikroba dan didefinisikan sebagai komunitas bakteri yang terorganisir, saling berkomunikasi

dan melekat pada permukaan inert atau hidup. Mikroorganisme dalam biofilm terdapat di dalam matriks polimer yang diproduksinya sendiri dengan bahan utama eksopolisakarida. Matriks biofilm tersusun atas polisakarida, protein dan DNA yang berasal dari mikroba (Paraje, 2011).



Gambar 2.11 Mekanisme Pembentukan Biofilm (Ranganathan, 2014)

Mekanisme pembentukan biofilm yaitu (Paraje, 2011):

1. Perekatan bakteri ke permukaan

Bakteri planktonik bebas menuju suatu permukaan dan melekat. Penempelan awal ini didasarkan pada daya tarik fisik dan gaya elektrostatik tetapi belum ada penempelan secara kimia.

2. Perekatan bakteri secara permanen

Beberapa dari sel reversibel yang teradsorpsi ini mulai membuat persiapan untuk penempelan yang lebih kuat dengan membentuk struktur tetap yang kemudian secara permanen mengikat ke permukaan.

3. Pembentukan koloni

Sel-sel perintis biofilm akan memproduksi dan membuat sel anakan yang akan membentuk mikrokoloni di permukaan beberapa jam kemudian setelah penempelan permanen.

#### 4. Akumulasi sel biofilm

Biofilm yang terbentuk akan semakin banyak dan mulai menghasilkan matriks polimer di sekitar mikrokoloni sebagai langkah untuk penempelan yang ireversibel.

#### 5. Pelepasan biofilm

Pada tahap berikutnya biofilm yang sudah matang akan pecah dan sel-sel bakteri dibebaskan kemudian dapat menyebar ke lokasi lain untuk membentuk biofilm yang baru.

### **2.5 Efek Kombinasi Medan Listrik dan Sinar Ultraviolet terhadap Proses Antibakteri**

Apabila suatu bakteri dikenai medan listrik, maka atom-atom dalam bakteri tersebut tingkat energinya akan terpisah (terpecah) dan menyebar. Pecahnya tingkat energi tersebut membuat daya absorbs terhadap cahaya menjadi meningkat. Ketika dikenai cahaya, maka elektron-elektronnya secara spontanitas akan menyerap cahaya. Elektron yang telah menyerap cahaya, jumlah energinya menjadi lebih besar dan pada saat atom tersebut kembali ke orbit dengan tingkat energi yang lebih rendah (deeksitasi) sehingga akan menghasilkan dua macam keadaan tereksitasi yaitu keadaan singlet dan triplet, kemudian menyebabkan sebagian dari energi tersebut akan mengalami proses fotokimia, dimana dalam proses tersebut membran sel akan membengkak kemudian pecah.

Perubahan atau kerusakan sel bakteri umumnya dinyatakan dalam bentuk kebocoran sel, perubahan ukuran dan ketebalan dinding sel, maupun penampakan sitoplasma (Hariono, 2012). Kerusakan sel oleh medan listrik telah diamati oleh beberapa peneliti sebelumnya dengan menggunakan SEM, pada minyak kelapa (Asriani, 2006), pada jaringan tomat dan jaringan jagung (Zhong *et al.*, 2009), serta pada ekstrak sirih hijau (Suliantari, 2009) terhadap berbagai bakteri Gram positif dan Gram negatif. Hasil penelitian tersebut umumnya melaporkan bahwa kerusakan pada sel bakteri diawali dengan rusaknya membran sel yang berlanjut dengan keluarnya material isi sel dan akhirnya sel bakteri mengalami kematian (Hariono, 2012).

Mekanisme kerusakan sel berbeda-beda tergantung pada jenis komponen penyusun bakteri tersebut. Mekanisme kerusakan sel menurut komponen antimikroorganisme terdapat empat macam yaitu sebagai berikut: 1) berpengaruh terhadap dinding sel, 2) berpengaruh terhadap membran sel dan mekanisme transport nutrisi, 3) berpengaruh terhadap enzim, dan 4) berpengaruh terhadap sintesis protein dan asam laktat. Berikut disajikan dalam tabel (Russel, 2005):

Tabel 2.1 Mekanisme Senyawa Antimikroorganisme

<b>Mikroorganisme</b>	<b>Target Kerusakan</b>
Bakteri bentuk kokus	Dinding sel, membran sitoplasma, enzim DNA dan RNA
Bakteri Gram negatif	Membran dalam, membran luar, protein, enzim, DNA dan RNA
<i>Mycobacteria</i>	Dinding sel, membran sitoplasma, protein, enzim, DNA dan RNA
<i>Bacillus spp, Clostridium spp</i>	Selubung spora luar, selubung spora dalam, kortek, membran spora, inti spora
Kapang	Dinding sel, membran sitoplasma, enzim, DNA dan RNA
Khamir	Dinding sel, membran sitoplasma, enzim, DNA dan RNA

## **BAB III METODE PENELITIAN**

### **3.1 Jenis Penelitian**

Penelitian ini merupakan jenis penelitian eksperimental. Penelitian eksperimental bertujuan untuk memperoleh data pengamatan tentang pengaruh variasi kuat medan listrik berpulsa dan intensitas cahaya ultraviolet-terhadap penurunan jumlah bakteri *Escherichia coli* pada biofilm.

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

Penelitian ini dilaksanakan pada Bulan Mei 2017 sampai dengan Oktober 2017 di Laboratorium Riset Material Jurusan Fisika dan Laboratorium Mikrobiologi Jurusan Biologi Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.

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

#### **3.3.1 Alat-alat yang Digunakan**

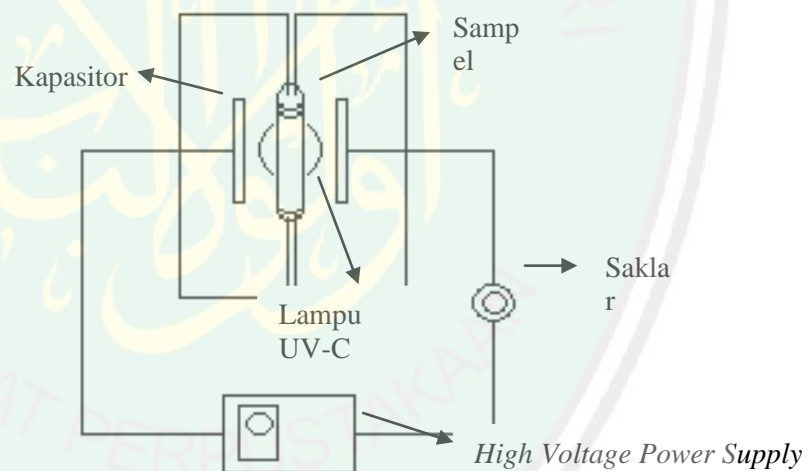
Medan listrik berpulsa 1 set, lampu UV-C (4 watt), luxmeter 1 buah, autoklaf 1 buah, timbangan analitik 1 buah, gelas arloji 1 buah, spatula 1 buah, *stirrer* 1 buah, botol semprot 1 buah, gelas ukur (50 mL) 2 buah, gelas ukur (10 mL) 2 buah, erlenmeyer (250 mL) 4 buah, tabung reaksi (10 mL) 12 buah, rak tabung reaksi 1 buah, cawan petri (20 mL) 60 buah, jarum ose 1 buah, inkubator 1 buah, pinset 1 buah, botol flakon (15 mL) 250 buah, mikro pipet 1 buah, *laminar air flow* (LAF) 1 unit, bunsen 1 buah, korek api, *colony counter* 1 buah, *hot plate*

1 buah, *stopwatch* 1 buah, *beaker glass* 2 buah, *blue tip* 100 buah, dan *vortex mixer* 1 buah.

### 3.3.2 Bahan-bahan yang Digunakan

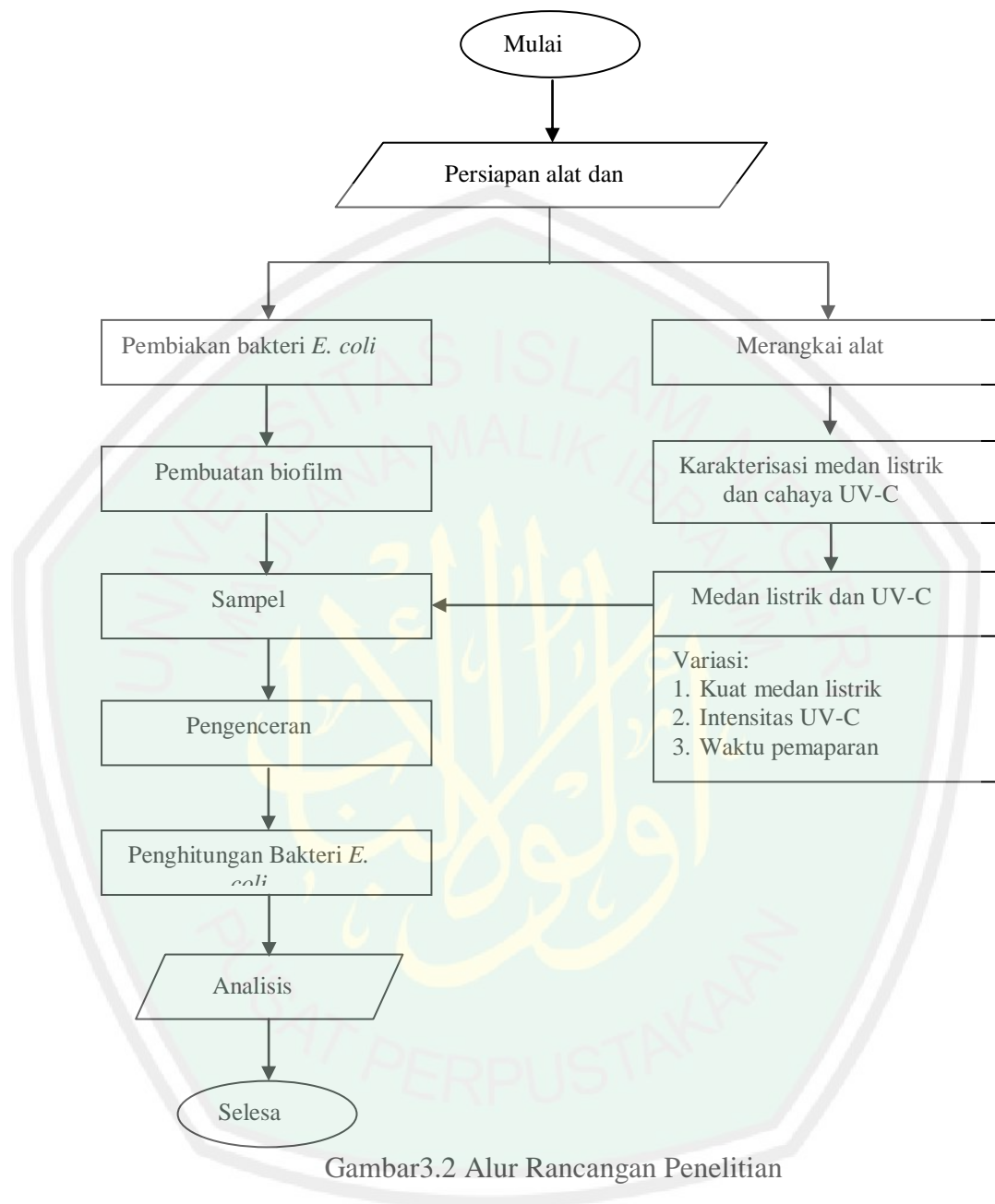
Bakteri *Escherichia coli*, media NA (*Nutrien Agar*), media NB (*Nutrien Broth*), media PCA (*Plate Count Agar*), lempeng sepatu sebagai substrak pembentuk biofilm, aquades, alkohol 70 %, kapas 1 *pack*, tisu 1 *pack*, plastik *wrap* 1 buah, plastik ukuran 2 kg, karet gelang, spirtus, NaCl 0,9 %, deterjen, dan alumunium foil.

### 3.4 Desain Rangkaian Alat



Gambar 3.1 Rangkaian Percobaan Sebagai Perlakuan pada Bakteri *Escherichia coli*

### 3.5 Rancangan Penelitian



Gambar3.2 Alur Rancangan Penelitian

Alat dan bahan disiapkan terlebih dahulu sebelum melakukan penelitian. Lalu diambil 1 ose biakan murni bakteri *Escherichia coli* dan dimasukkan ke dalam media NA dalam tabung reaksi dan diinkubasi selama 24 jam. Kemudian diambil 1 ose bakteri dari media NA dan dimasukkan ke dalam 66 mL media NB



cair. Setelah itu lempengan sepatu dimasukkan ke dalam media NB kemudian diinkubasi selama 6 hari. Setelah biofilm terbentuk pada sepatu, kemudian dipapari medan listrik dengan pemberian variasi kuat medan listrik 3 kV/cm; 3,25 kV/cm; dan 3,5 kV/cm, variasi intensitas cahaya ultraviolet-C 100 mW/cm<sup>2</sup>; 180 mW/cm<sup>2</sup>; dan 260 mW/cm<sup>2</sup>, dengan variasi waktu yaitu 5 menit; 10 menit; 15 menit; 20 menit; dan 25 menit. Setelah itu lempengan sepatu dimasukkan ke dalam 10 mL NaCl 0,9 % pada botol flakon dan divorteks selama 1 menit untuk melepas sel biofilm. Hasil sampel yang telah dipapari diambil sebanyak 0,1 mL kultur kemudian disebar pada media NA, diinkubasi selama 24 jam kemudian dilakukan penghitungan melalui pengenceran dengan metode TPC, dari pengenceran terakhir diambil 1 mL dituang ke dalam cawan petri dan ditambah 15 mL media PCA kemudian dihomogenkan. Setelah membeku, dimasukkan dalam inkubator dengan posisi terbalik selama 24 jam, penghitungan dilakukan menggunakan *colony counter*. Hasil data yang diperoleh diolah dengan analisis deskriptif dan RAK (Rancangan Acak Kelompok) faktorial.

### **3.6 Prosedur Penelitian**

#### **3.6.1 Sterilisasi**

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

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

1. Media NA ditimbang sebanyak 2 gram.
2. Ditambahkan aquades sebanyak 50 mL ke dalam *beaker glass* dan dipanaskan di atas *hot plate* sampai homogen.
3. Media NA dimasukkan ke dalam 10 buah tabung reaksi, masing-masing sebanyak 5 mL kemudian disterilisasi dengan autoklaf. Setelah selesai, media NA dimiringkan.

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

1. Media NB ditimbang sebanyak 1,06 gram.
2. Ditambahkan aquades sebanyak 132 mL dalam *beaker glass* kemudian dipanaskan di atas *hot plate* sampai homogen.
3. Media NB dituang ke dalam dua botol berukuran 100 mL sebanyak 66 mL kemudian ditutup dengan kapas dan plastik wrap.
4. Media NB disterilisasi dengan autoklaf.

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

1. Media PCA ditimbang sebanyak 3,4 gram.
2. Media PCA yang sudah ditimbang kemudian ditambahkan aquades sebanyak 150 mL ke dalam *beaker glass* dan dipanaskan di atas *hot plate* sampai homogen.
3. Media PCA disterilisasi dengan autoklaf.

### 3.6.5 Pemiakan Bakteri *Escherichia coli*

1. Bakteri secara aseptik diinokulasi dengan jarum ose pada permukaan medium miring (media NA).
2. Biakan tersebut diinkubasi dalam inkubator dengan suhu 37 °C selama 24 jam.

### 3.6.6 Pembuatan Biofilm Bakteri *Escherichia coli*

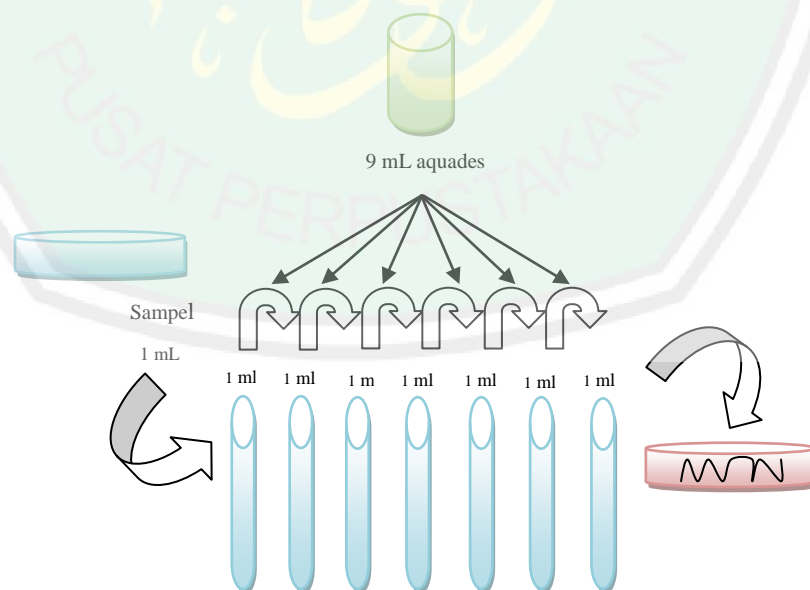
1. Lempeng sepatu berukuran 1x1 cm dicuci dengan deterjen lalu disterilkan dengan autoklaf selama 15 menit, dengan tekanan 1 atm dan suhu 121 °C.
2. Diambil 1 ose bakteri dari media NA dan dimasukkan ke dalam 20 mL media NB cair.
3. Lempeng sepatu dimasukkan ke dalam media NB cair yang sudah ditumbuhi bakteri.
4. Media NB diinkubasi dalam inkubator pada suhu 37 °C selama 6 hari.
5. Sampel biofilm yang telah diinkubasi selama 6 hari kemudian diberi paparan medan listrik.

### 3.6.7 Pemaparan Medan ListrikBerpulsa dan Cahaya Ultraviolet-C

1. Bakteri kontrol
  - a. Cawan petri yang berisi sampel biofilm tanpa dipapari medan listrik berpulsa diberi label “kontrol”.
  - b. Dihitung jumlah koloni dengan *colony counter*.
2. Sampel yang dipapari medan listrik berpulsa dan sinar ultraviolet-C

- a. Bakteri yang telah membentuk biofilm diberi paparan medan listrik sebesar 3 kV/cm; 3,25 kV/cm dan 3,5 kV/cm, variasi intensitas cahaya ultraviolet-C 100 mW/cm<sup>2</sup>; 180 mW/cm<sup>2</sup>; dan 260 mW/cm<sup>2</sup>, dengan variasi waktu yaitu 5 menit; 10 menit; 15 menit; 20 menit; dan 25 menit.
- b. Diambil lempeng sepatu dari kultur dengan menggunakan pinset steril, dibilas sebanyak 3 kali dengan akuades steril.
- c. Lempeng dimasukkan ke dalam 10 mL NaCl 0,9 % pada botol flakon kemudian divorteks selama 1 menit untuk melepas sel biofilm.
- d. Diulang kembali langkah di atas, dengan masing-masing variasi kuat medan listrik, intensitas cahaya ultraviolet-C dan waktu, dilakukan tiga kali pengulangan.

### 3.6.8 Dilusi (Pengenceran)



Gambar 3.3 Proses Pengenceran dengan Metode *Total Plate Colony* (TPC)

1. Disiapkan sampel, cawan petri, botol flakon 15 mL dan *blue tip* yang sudah disterilkan.
2. Disiapkan kapas, bunsen, korek api, tisu, mikro pipet, dan media NA.
3. Diambil 1 mL suspensi biofilm dari botol flakon yang telah divorteks kemudian dimasukkan ke dalam botol flakon steril yang berisi 9 mL aquades dan diberi tanda sebagai pengenceran  $10^{-1}$ .
4. Diambil kembali 1 mL dari suspensi  $10^{-1}$  yang sudah dihomogenkan kemudian dimasukkan ke dalam botol flakon steril yang berisi 9 mL aquades sebagai pengenceran  $10^{-2}$ .
5. Dilakukan pengenceran sampai pengenceran  $10^{-7}$ .
6. Dituangkan suspensi pada pengenceran  $10^{-7}$  sebanyak 1 mL ke dalam cawan petri steril kemudian dituangkan media PCA cair kira-kira sebanyak 15 mL sebagai media untuk hidup. Setelah itu dihomogenkan.
7. Dilakukan semua proses di atas secara aseptis, yaitu di dekat api bunsen.
8. Setelah media tersebut membeku, dimasukkan ke dalam inkubator dengan posisi terbalik (bagian tutup berada di bawah), diinkubasi selama 24 jam dengan suhu  $37^{\circ}\text{C}$ .

### 3.6.9 Penghitungan Koloni Bakteri

1. Koloni bakteri dihitung dan cawan petri diletakkan di atas *colony counter*.
2. Koloni yang sudah dihitung diberi tanda dengan spidol untuk menghindari kesalahan.
3. Perhitungan ulang dengan menggunakan *hand counter*.

### 3.7 Teknik Pengumpulan Data

Data yang telah diperoleh berupa jumlah bakteri *Escherichia coli* setelah diberi paparan medan listrik berpulsa dengan variasi kuat medan, cahaya ultraviolet-C dengan variasi intensitas dan waktu pemaparan kemudian diolah dan dicatat pada tabel 3.1, tabel 3.2 dan tabel 3.3.

Tabel 3.1 Rata-Rata dan Penurunan Jumlah Bakteri *Escherichia Coli* Setelah Dipapari Medan Listrik Berpulsa

E (kV/cm)	t (menit)		Kontrol (CFU/mL)
	Rata-rata(CFU/mL)	Penurunan( %)	
3			
3,25			
3,5			

Tabel 3.2 Rata-Rata dan Penurunan Jumlah Bakteri *Escherichia Coli* Setelah Dipapari Medan Listrik Berpulsa dan Cahaya Ultraviolet-C

E (kV/cm)	I (mW/cm <sup>2</sup> )		Kontrol (CFU/mL)
	Rata-rata(CFU/mL)	Penurunan( %)	
3			
3,25			
3,5			

Tabel 3.3 Rata-Rata dan Penurunan Jumlah Bakteri *Escherichia Coli* Setelah Dipapari Medan Listrik Berpulsa dan Cahaya Ultraviolet-C dengan Variasi Waktu Pemaparan

t (menit)	E (kV/cm)		Kontrol (CFU/mL)
	Rata-rata (CFU/mL)	Penurunan( %)	
5			
10			
15			
20			
25			

### 3.8 Teknik Analisis Data

Data yang diperoleh dari membandingkan antara bakteri kontrol dengan bakteri yang sudah dipapari medan listrik berpulsa dan cahaya ultraviolet-C dengan kuat medan listrik, intensitas cahaya, dan waktu pemaparan yang bervariasi, selanjutnya dianalisis dengan analisis deskriptif dan analisis RAK (Rancangan Acak Kelompok) faktorial untuk mengetahui pengaruh kuat medan listrik berpulsa terhadap pertumbuhan bakteri *Escherichia coli*.



## **BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN**

### **4.1 Hasil Penelitian**

Penelitian tentang “Pengaruh Medan Listrik Berpulsa dan Cahaya ultraviolet-C Terhadap Pertumbuhan Biofilm *Escherichia coli*” ini terdiri dari beberapa tahap. Tahap pertama yaitu pembuatan sampel biofilm. Pembuatan sampel biofilm dilakukan dengan cara memasukkan lempeng sepatu steril berukuran 1 cm<sup>2</sup> ke dalam botol berisi media NB sebanyak 66 mL, kemudian mengambil 1 ose bakteri *Escherichia coli* yang telah dibiakkan pada media NA dan memasukkannya ke dalam botol media NB yang telah diberi lempeng sepatu. Selanjutnya diinkubasi dalam inkubator dengan suhu 37 °C selama 6 hari.

Tahap kedua yaitu pemaparan. Biofilm yang terbentuk pada lempeng sepatu kemudian dipapari medan listrik berpulsa dengan kuat medan 3 kV/cm, 3,25 kV/cm, 3,5 kV/cm dan cahaya ultraviolet-C dengan intensitas 100 mW/cm<sup>2</sup>, 180 mW/cm<sup>2</sup>, 260 mW/cm<sup>2</sup> selama 5 menit, 10 menit, 15 menit, 20 menit dan 25 menit. Lempeng sepatu yang sudah dipapari medan listrik berpulsa dan cahaya ultraviolet-C selanjutnya dimasukkan ke dalam 10 mL NaCl 0,9 % dan divorteks selama 1 menit agar sel biofilm terlepas dari lempeng sepatu.

Tahap ketiga yaitu penghitungan jumlah bakteri. Tahap ini dilakukan setelah proses pengenceran, pada pengenceran 10<sup>-7</sup> diambil 1 mL suspensi dan dimasukkan ke dalam cawan petri lalu diberi media PCA kemudian dihomogenkan dan diinkubasi dalam inkubator selama 24 jam dengan posisi terbalik. Penghitungan dilakukan secara manual dengan cara ditandai menggunakan spidol agar tidak terjadi penghitungan ulang. Selanjutnya hasil



penghitungan diolah menggunakan persamaan 4.1 untuk mendapat data jumlah bakteri (Lampiran 1).

$$\Sigma sel/mL = \Sigma koloni \times \frac{1}{10^{-n}} cfu/mL \quad (4.2)$$

Persamaan 4.2 digunakan untuk menghitung hasil persentase penurunan jumlah bakteri (Lampiran 3).

$$\text{Persentase penurunan bakteri} = \frac{N_0 - N}{N_0} \times 100 \% \quad (4.2)$$

#### 4.1.1 Pengaruh Medan Listrik Berpulsa Terhadap Pertumbuhan Jumlah Bakteri *Escherichia coli*

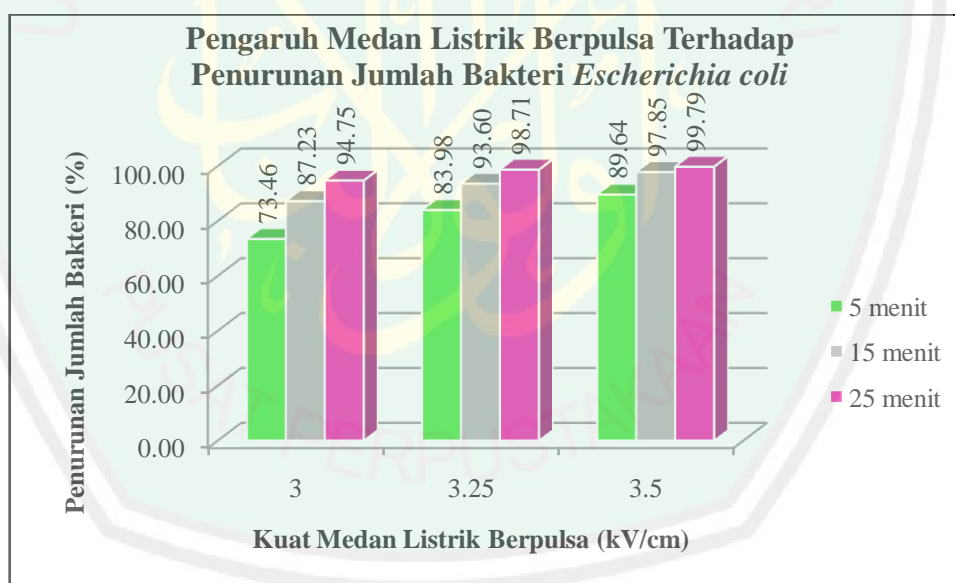
Tabel 4.1 Rata-Rata dan Penurunan Jumlah Bakteri *Escherichia Coli* yang Dipapari Medan Listrik Berpulsa

E (kV/cm)	5 menit		15 menit		25 menit		Kontrol (x10 <sup>7</sup> CFU/mL)
	Rata-rata (x10 <sup>7</sup> CFU/mL)	Penu- runan (%)	Rata-rata (x10 <sup>7</sup> CFU/mL)	Penu- runan (%)	Rata-rata (x10 <sup>7</sup> CFU/mL)	Penu- runan (%)	
3	61,45	73,46	29,56	83,98	12,15	89,64	231,5
3,25	37,10	87,23	14,82	93,6	2,99	97,85	
3,5	23,98	94,75	4,97	98,71	0,48	99,79	

Tabel 4.1 menunjukkan bahwa medan listrik berpulsa dapat menurunkan jumlah bakteri *Escherichia coli*. Pada kuat medan listrik berpulsa 3 kV/cm selama 25 menit penurunan bakteri sebesar 89,64 %. Penurunan tersebut menjadi 99,79 % ketika kuat medan listrik sebesar 3,5 kV/cm. Penurunan tersebut ditunjukkan pada gambar 4.1.

Gambar 4.1 menunjukkan bahwa dengan kuat medan listrik 3 kV/cm penurunan jumlah bakteri pada waktu 5 menit adalah 73,46 % dengan jumlah bakteri aktif sebesar 61,45x20<sup>7</sup> CFU/mL, pada waktu paparan 15 menit penurunan jumlah bakterinya adalah 87,23 % dengan jumlah bakteri yang aktif yaitu 29,56x10<sup>7</sup> CFU/mL dan pada waktu paparan 25 menit penurunan

jumlah bakterinya menjadi 94,75 % dengan bakteri aktif sebanyak  $12,15 \times 10^7$  CFU/mL. Pada kuat medan listrik 3,25 kV/cm dengan waktu 5 menit penurunan jumlah bakterinya 83,98 % dengan jumlah bakteri aktif sebanyak  $37,10 \times 10^7$  CFU/mL, waktu pemaparan 15 menit penurunan jumlah bakterinya 93,6 % dengan jumlah bakteri aktif yaitu  $14,82 \times 10^7$  CFU/mL, dan pemaparan selama 25 menit penurunannya menjadi 98,71 % dengan  $2,99 \times 10^7$  CFU/mL bakteri yang aktif. Sedangkan kuat medan listrik 3,5 kV/cm penurunan jumlah bakterinya selama 5 menit adalah 89,64 % dengan jumlah bakteri aktif adalah  $23,98 \times 10^7$  CFU/mL, waktu pemaparan 15 menit penurunan bakterinya 97,85 % dengan bakteri aktif sebanyak  $4,97 \times 10^7$  CFU/mL dan waktu pemaparan 25 menit penurunannya menjadi 99,79 % dengan  $0,48 \times 10^7$  CFU/mL bakteri yang aktif.



Gambar 4.1 Penurunan Jumlah Bakteri *Escherichiacoli* setelah Dipapari Medan Listrik Berpulsa

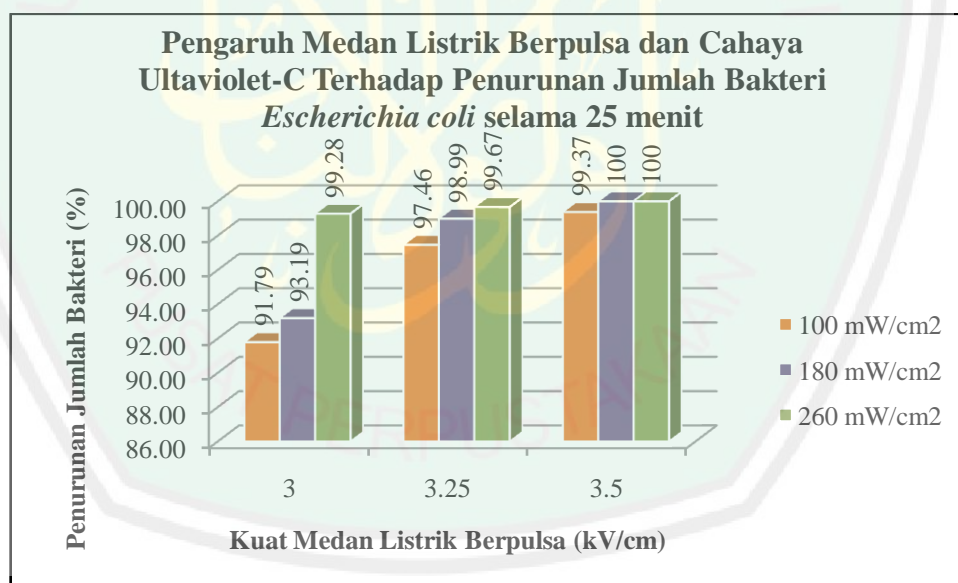
#### 4.1.2 Pengaruh Medan Listrik Berpulsa dan Cahaya Ultraviolet-C Terhadap

##### Pertumbuhan Jumlah Bakteri *Escherichia coli*

Tabel 4.2 Rata-Rata dan Penurunan Jumlah Bakteri *Escherichia Coli* yang Dipapari Medan Listrik Berpulsa dan Cahaya Ultraviolet-C selama 25 menit

E (kV/cm)	100 mW/cm <sup>2</sup>		180 mW/cm <sup>2</sup>		260 mW/cm <sup>2</sup>		Kontrol (x10 <sup>7</sup> CFU/mL)
	Rata-rata (x10 <sup>7</sup> CFU/mL)	Penu- runan (%)	Rata-rata (x10 <sup>7</sup> CFU/mL)	Penu- runan (%)	Rata-rata (x10 <sup>7</sup> CFU/mL)	Penu- runan (%)	
3	19,01	91,79	15,77	93,19	1,67	99,28	231,5
3,25	5,87	97,46	2,33	98,99	0,77	99,67	
3,5	1,45	99,37	0	100	0	100	

Tabel 4.2 menunjukkan bahwa medan listrik berpulsa dan cahaya ultraviolet-C dapat menurunkan jumlah bakteri *Escherichia coli*. Pada kuat medan listrik berpulsa 3 kV/cm dengan intensitas cahaya 260 mW/cm<sup>2</sup> selama 25 menit penurunan bakteri sebesar 99,28 %. Penurunan tersebut menjadi 100 % ketika kuat medan listrik sebesar 3,5 kV/cm dengan intensitas cahaya 180 mW/cm<sup>2</sup> dan 260 mW/cm<sup>2</sup>. Penurunan tersebut ditunjukkan pada gambar 4.2.



Gambar 4.2 Penurunan Jumlah Bakteri *Escherichiacoli* setelah Dipapari Medan Listrik Berpulsadan Cahaya Ultraviolet-C

Gambar 4.2 menunjukkan penurunan jumlah bakteri pada kuat medan 3 kV/cm dan intensitas 100 mW/cm<sup>2</sup> adalah 91,79 % dengan bakteri yang masih aktif sebesar 19,01x10<sup>7</sup> CFU/mL, dengan intensitas 180 mW/cm<sup>2</sup> penurunan

jumlah bakterinya sebesar 93,19 % bakteri yang aktif yaitu  $15,77 \times 10^7$  CFU/mL dan dengan intensitas  $260 \text{ mW/cm}^2$  penurunannya menjadi 99,28 % dengan jumlah bakteri aktif sebesar  $1,67 \times 10^7$  CFU/mL. Pada kuat medan  $3,25 \text{ kV/cm}$  dengan intensitas  $100 \text{ mW/cm}^2$  jumlah bakteri mengalami penurunan sebesar 97,46 % dengan jumlah bakteri aktif  $5,87 \times 10^7$  CFU/mL, dengan intensitas  $180 \text{ mW/cm}^2$  penurunan jumlah bakterinya sebesar 98,99 % dengan jumlah bakteri aktif  $2,33 \times 10^7$  CFU/mL dan dengan intensitas  $260 \text{ mW/cm}^2$  penurunannya menjadi 99,67 % dengan jumlah bakteri aktif  $0,77 \times 10^7$  CFU/mL.

Penurunan jumlah bakteri pada kuat medan  $3,5 \text{ kV/cm}$  dengan intensitas  $100 \text{ mW/cm}^2$  adalah 99,37 % bakteri yang aktif sebesar  $1,45 \times 10^7$  CFU/mL, dengan intensitas  $180 \text{ mW/cm}^2$  dan  $260 \text{ mW/cm}^2$  penurunan bakterinya sebesar 100 % sehingga sudah tidak ada lagi bakteri yang aktif. Berdasarkan uraian tersebut, maka dapat disimpulkan bahwa semakin besar kuat medan dan intensitas cahaya yang dipaparkan maka pertumbuhan jumlah bakteri *Escherichia coli* semakin menurun.

#### 4.1.3 Pengaruh Waktu Pemaparan Medan Listrik Berpulsa dan Cahaya Ultraviolet-C Terhadap Pertumbuhan Jumlah Bakteri *Escherichia coli*

Pengaruh waktu pemaparan medan listrik berpulsa dan cahaya ultraviolet-C terhadap pertumbuhan jumlah bakteri *Escherichia coli* ditunjukkan dalam tabel 4.3.

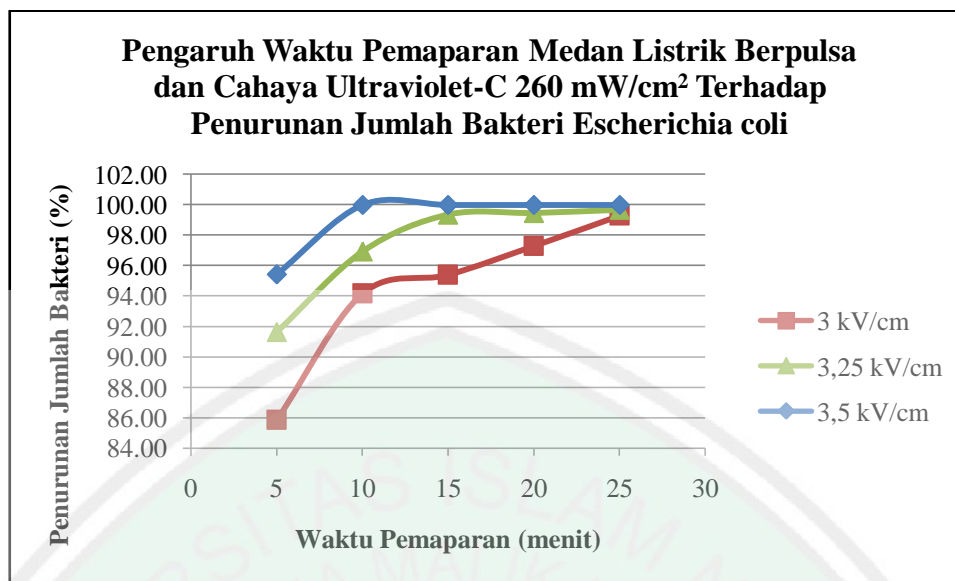
Tabel 4.3 Rata-Rata dan Penurunan Jumlah Bakteri *Escherichia Coli* Setelah Dipapari Medan Listrik Berpulsa  $3 \text{ kV/cm}$ ;  $3,25 \text{ kV/cm}$ ;  $3,5 \text{ kV/cm}$  dan Cahaya Ultraviolet-C  $260 \text{ mW/cm}^2$  dengan Variasi Waktu Pemaparan

t (me nit)	3 kV/cm		3,25 kV/cm		3,5 kV/cm		Kontr ol ( $\times 10^7$ CFU/ mL)
	Rata- rata ( $\times 10^7$ )	Pen u- run	Rata- rata ( $\times 10^7$ )	Pen u- run	Rata- rata ( $\times 10^7$ )	Pen u- run	

	CFU/ mL)	an ( %)	CFU/ mL)	an ( %)	CFU/ mL)	an ( %)	
5	32,74	85, 86	19,35	91, 64	10,62	95, 41	231,5
10	13,53	94, 16	7,13	96, 92	0,0008 67	100	
15	10,68	95, 39	1,48	99, 36	0,0000 65	100	
20	6,29	97, 28	1,23	99, 47	0	100	
25	1,67	99, 28	0,77	99, 67	0	100	

Tabel 4.3 menunjukkan bahwa waktu pemaparan medan listrik berpulsa dan cahaya ultraviolet-C dapat menurunkan jumlah bakteri *Escherichia coli*. Pada waktu pemaparan 25 menit dengan kuat medan listrik berpulsa 3,25 kV/cm dan intensitas cahaya 260 mW/cm<sup>2</sup> penurunan bakteri sebesar 99,67 %. Penurunan tersebut menjadi 100 % ketika kuat medan listrik sebesar 3,5 kV/cm dengan intensitas cahaya 260 mW/cm<sup>2</sup> pada waktu pemaparan 20 menit dan 25 menit, sedangkan pada waktu pemaparan 10 menit dan 15 menit penurunannya 100 % namun jumlah bakteri masih belum 0 CFU/mL. Penurunan tersebut ditunjukkan pada gambar 4.3.

Gambar 4.3 menunjukkan bahwa penurunan jumlah bakteri pada kuat medan 3 kV/cm dengan waktu pemaparan 5 menit sebesar 85,86 % dengan bakteri aktif 32,74x10<sup>7</sup> CFU/mL, 10 menit pemaparan penurunannya jumlah bakterinya 94,16 % dengan bakteri aktif sebesar 13,53x10<sup>7</sup> CFU/mL, 15 menit pemaparan penurunan jumlah bakterinya sebesar 95,39 % dengan bakteri aktif 10,68x10<sup>7</sup> CFU/mL, dengan pemaparan 20 menit penurunan jumlah bakterinya sebesar 97,28 % dengan bakteri aktif 6,29x10<sup>7</sup> CFU/mL dan dengan 25 menit pemaparan penurunan jumlah bakterinya 99,28 % dengan jumlah bakteri aktif 1,67x10<sup>7</sup> CFU/mL.



Gambar 4.3 Penurunan Jumlah Bakteri *Escherichia coli* dengan Variasi Waktu Pemaparan

Pada kuat medan 3,25 kV/cm dengan waktu pemaparan 5 menit penurunan jumlah bakterinya sebesar 91,64 % dengan jumlag bakteri aktif  $19,35 \times 10^7$  CFU/mL, 10 menit pemaparan penurunan jumlah bakterinya menjadi 96,92 % dengan jumlah bakteri aktif  $7,13 \times 10^7$  CFU/mL, 15 menit pemaparan penurunan jumlah bakteri sebesar 99,36 % dengan bakteri aktif sebesar  $1,48 \times 10^7$  CFU/mL, dengan pemaparan 20 menit penurunan jumlah bakterinya sebesar 99,47 % dengan jumlah bakteri aktif  $1,23 \times 10^7$  CFU/mL dan 25 menit pemaparan penurunan jumlah bakterinya menjadi 99,67 % dengan jumlah bakteri aktif sebesar  $0,77 \times 10^7$  CFU/mL.

Pada kuat medan listrik 3,5 kV/cm dan waktu pemaparan 5 menit penurunan jumlah bakterinya yaitu 95,41 % dengan jumlah bakteri aktif sebesar  $10,62 \times 10^7$  CFU/mL, 10 menit pemaparan penurunan jumlah bakterinya menjadi 100 % namun masih terdapat bakteri aktif sebesar  $0,000867 \times 10^7$  CFU/mL, 15 menit pemaparan penurunan bakterinya juga 100 % namun masih terdapat

0,000065x10<sup>7</sup> CFU/mL bakteri yang aktif, dengan pemaparan 20 menit dan 25 menit penurunannya 100 % dengan tidak ada bakterilagi yang aktif. Sehingga dapat disimpulkan bahwa semakin lama waktu pemaparan medan listrik berpulsa dan cahaya ultraviolet-C yang diberikan maka pertumbuhan jumlah bakteri *Escherichia coli* yang aktif semakin menurun.

## 4.2 Pembahasan

### 4.2.1 Pengaruh Medan Listrik Berpulsa Terhadap Pertumbuhan Jumlah Bakteri *Escherichia coli*

Pengaruh medan listrik berpulsa terhadap bakteri dapat dilihat pada gambar 4.1, yaitu semakin tinggi medan listrik yang diberikan maka pertumbuhan jumlah koloni bakteri semakin menurun. Pemberian medan listrik berpulsa terhadap bakteri akan menyebabkan terjadinya elektroporasi sel, yaitu peristiwa rusaknya sel akibat membesarnya pori-pori membran sel sehingga meningkatkan permeabilitas membran.

Bakteri yang dikenai medan listrik, muatan pada molekul di dalam membran selnya akan terpisah karena muatan positif molekul bakteri bergeser ke arah elektroda negatif plat kapasitor dan muatan negatif akan bergeser ke arah elektroda positif. Terpisahnya muatan pada bakteri menyebabkan potensial transmembran meningkat. Potensial transmembran yaitu potensial yang terdapat pada bagian dalam dan luar sel, yang mana dengan potensial transmembran ini maka tidak semua molekul dari luar sel mampu masuk ke dalam sel. Namun dengan meningkatnya potensial transmembran maka menyebabkan porositas, semakin tinggi medan listrik yang diberikan maka semakin banyak porositas yang terbentuk. Terbentuknya porositas ini menyebabkan permeabilitas dinding sel

meningkat. Permeabilitas yaitu kemampuan dinding sel meloloskan partikel dari luar ke dalam sel. Ketika permeabilitas meningkat maka partikel dari luar akan banyak yang masuk ke dalam, kemudian sel akan membengkak atau membesar akibat banyaknya partikel dari luar yang masuk. Selanjutnya membran sel akan mengalami lisis, yaitu peristiwa hancurnya sel karena membran sel pecah dan isi di dalam sel bakteri keluar, sehingga bakteri menjadi mati.

#### **4.2.2 Pengaruh Medan Listrik Berpulsa dan Cahaya Ultraviolet-C Terhadap Pertumbuhan Jumlah Bakteri *Escherichia coli***

Bila bakteri dikenai medan listrik maka muatan di dalam molekul membran sel akan terpisah, hal tersebut membuat tingkat energi molekul dalam bakteri meningkat. Peningkatan energi tersebut membuat daya serap bakteri terhadap cahaya menjadi tinggi, sehingga di saat yang sama ketika dipapari dengan cahaya ultraviolet-C, molekul di dalam bakteri dengan cepat akan menyerap cahaya yang dipancarkan. Lalu elektron-elektron pada keadaan dasar (*ground state*) akan berpindah ke tingkat energi yang lebih tinggi ( $S_1$  atau  $S_2$ ). Pada kondisi  $S_1$  atau  $S_2$ , elektron akan mengalami relaksasi untuk mencapai keadaan yang setimbang dengan cara melepaskan energi berupa cahaya dan semakin lama energinya akan berkurang hingga akhirnya elektron akan kembali berada di keadaan dasar.

Perpindahan energi dari  $S_1$  ke  $S_0$  akan mengalami fluoresensi akibat perpindahannya ke sub-tingkat energi  $S_0$  berbeda-beda. Selain itu perpindahannya juga mengalami fosforesensi, jika terjadi proses yang melibatkan dua keadaan elektron yang berbeda sebelum berpindah dari  $S_1$  ke  $S_0$  yaitu saat elektron di  $S_1$  terjadi konversi spin ke keadaan triplet ( $T_1$ ). Energi dari fosforesensi ini



dilanjutkan ke oksigen terdekat untuk menghasilkan jenis reaksi oksigen dan sebagian lain mengalami proses fotokimia. Fotokimia adalah reaksi kimia yang menggunakan cahaya sebagai energi aktivasinya. Cahaya yang dipancarkan akan menyebabkan terjadinya dimer pirimidin, yaitu terbentuknya pasangan timin atau sitosin-pirimidin yang berdekatan karena rantai DNA atau RNA sama. Akibat dari terganggunya DNA maka menyebabkan terjadinya dimer timin yang mencegah transkripsi dan replikasi DNA. Hubungan dimer pirimidin dengan dimer timin tersebut membuat kesalahan kode baca genetik sehingga bakteri tidak mampu bereplikasi. Kombinasi medan listrik berpulsa dengan cahaya ultraviolet-C selain menyebabkan kerusakan pada DNA dan RNA juga menyebabkan kerusakan pada membran dalam dan luar, serta protein yang terdapat pada dinding sel dan enzim sehingga membuat pembengkakan membran sel hingga akhirnya terjadi lisis dan bakteri mengalami kematian.

#### **4.2.3 Pengaruh Waktu Pemaparan Medan Listrik Berpulsa dan Cahaya Ultraviolet-C Terhadap Pertumbuhan Jumlah Bakteri *Escherichia coli***

Waktu pemaparan medan listrik berpulsa dan cahaya ultraviolet-C berpengaruh dalam penurunan pertumbuhan jumlah bakteri *Escherichia coli*. Sebagaimana dipaparkan dalam subbab 4.1.3, yaitu waktu pemaparan 25 menit merupakan penurunan jumlah bakteri yang paling tinggi. Hal tersebut terjadi karena dengan waktu yang semakin lama maka medan listrik berpulsa dan cahaya ultraviolet-C yang diterima oleh bakteri semakin besar sehingga tingkat kerusakan bakteri semakin tinggi sebab membran sel bakteri yang telah rusak oleh medan listrik berpulsa akan dengan cepat menyerap cahaya ultraviolet-C semakin cepat

dan banyak, kemudian akan mempengaruhi peristiwa elektroporasi yang terjadi dan kelangsungan hidup bakteri itu sendiri.

#### 4.3 Sterilisasi dalam Pandangan al-Qur'an dan Hadits

Allah menciptakan alam dengan segala isinya merupakan suatu kesatuan yang tidak terpisahkan. Sebagaimana firman-Nya dalam Q.S. al-Baqarah (2): 29.

هُوَ الَّذِي خَلَقَ لَكُمْ مَّا فِي الْأَرْضِ جَمِيعًا ثُمَّ اسْتَوَىٰ إِلَى السَّمَاءِ فَسَوَّاهُنَّ سَبْعَ سَمَوَاتٍ وَهُوَ بِكُلِّ شَيْءٍ عَلِيمٌ ﴿٢٩﴾

*“Dialah Allah, yang menjadikan segala yang ada di bumi untuk kamu dan Dia berkehendak (menciptakan) langit, lalu dijadikan-Nya tujuh langit. Dan Dia Maha Mengetahui segala sesuatu”*(Q.S. al-Baqarah (2): 29).

Tidak ada sesuatu yang diciptakan oleh Allah baik manusia, hewan maupun tumbuhan di muka bumi ini dengan sia-sia. Allah menciptakan hewan dengan bermacam-macam bentuknya, sebagaimana firman Allah dalam Q.S. an-Nuur (24): 45.

وَاللَّهُ خَلَقَ كُلَّ دَابَّةٍ مِّن مَّاءٍ فَمِنْهُمْ مَّن يَمْشِي عَلَىٰ بَطْنِهِ ۗ وَمِنْهُمْ مَّن يَمْشِي عَلَىٰ رِجْلَيْنِ وَمِنْهُمْ مَّن يَمْشِي عَلَىٰ أَرْبَعٍ يَخْلُقُ اللَّهُ مَا يَشَاءُ إِنَّ اللَّهَ عَلَىٰ كُلِّ شَيْءٍ قَدِيرٌ ﴿٤٥﴾

*“Dan Allah telah menciptakan semua jenis hewan dari air, maka sebagian dari hewan itu ada yang berjalan di atas perutnya dan sebagian berjalan dengan dua kaki sedang sebagian (yang lain) berjalan dengan empat kaki. Allah menciptakan apa yang dikehendaki-Nya, sesungguhnya Allah Maha Kuasa atas segala sesuatu”*(Q.S. an-Nuur (24): 45).

Kalimat “Allah menciptakan apa yang dikehendaki-Nya” bermakna bahwa Allah berkehendak untuk menciptakan hewan dengan bentuk, anggota tubuh, gerak, maupun kekuatan yang berbeda-beda, seperti bakteri. Bakteri merupakan mikroorganisme bersel tunggal yang tidak terlihat oleh mata, ukurannya pun

bermacam-macam tergantung pada jenisnya. Salah satu bakteri tersebut yaitu *Escherichia coli*. Bakteri *Escherichia coli* dapat bersifat menguntungkan bagi manusia, khususnya pada proses pencernaan. Bakteri tersebut menguraikan sisa-sisa makanan yang tidak diserap dalam proses pencernaan dan mencernanya bersama bakteri lain di dalam usus besar. Bakteri *Escherichia coli* menutupi permukaan usus besar agar tidak ada tempat untuk bakteri patogen, sehingga bakteri patogen langsung keluar bersama kotoran. Bakteri *Escherichia coli* juga melatih pertahanan sel di dinding usus agar mampu menghadapi serangan bakteri patogen.

Bakteri *Escherichia coli* juga dapat bersifat merugikan jika terdapat pada kaki ataupun sepatu, karena bakteri ini dapat menyebabkan infeksi. Infeksi tersebut timbul akibat kebersihan kaki yang kurang terjaga, sehingga bakteri dapat hidup di sana. Penggunaan sepatu dan kaos kaki akan meningkatkan suhu dan kelembaban kaki sehingga kaki mengeluarkan keringat. Bertemunya keringat dengan bakteri akan menyebabkan masalah bau kaki, kaos kaki dan sepatu. Islam menganjurkan umatnya untuk menjaga kebersihan agar terhindar dari berbagai penyakit. Sebagaimana firman-Nya dalam Q.S. al-Muddatsir (74): 4-5.

وَتِيَابَكَ فَطَهِّرْ ﴿٤﴾ وَالرِّجْزَ فَاهْجُرْ ﴿٥﴾

"Dan pakaianmu bersihkanlah. Dan perbuatan dosa tinggalkanlah" (Q.S. al-Muddatsir (74): 4-5).

حَدَّثَنَا إِسْحَاقُ بْنُ مَنْصُورٍ، حَدَّثَنَا حَبَّانُ بْنُ هِلَالٍ، حَدَّثَنَا أَبُو بَرٍّ، حَدَّثَنَا يَحْيَى، أَنَّ زَيْدًا، حَدَّثَهُ أَنَّ أَبَا سَلَامٍ حَدَّثَهُ عَنْ أَبِي مَالِكٍ الْأَشْعَرِيِّ قَالَ: قَالَ رَسُولُ اللَّهِ صَلَّى اللَّهُ عَلَيْهِ وَسَلَّمَ: الظُّهُورُ شَطْرُ الإِمَانِ وَالْحَمْدُ لِلَّهِ تَمْلَأُ المِيزَانَ، وَسُبْحَانَ اللَّهِ وَالْحَمْدُ لِلَّهِ تَمْلَأَانِ أَوْ تَمْلَأُ مَابَيْنَ السَّمَاوَاتِ وَالْأَرْضِ، وَالصَّلَاةُ نُورٌ، وَالصَّدَقَةُ بُرْهَانٌ، وَالصَّبْرُ ضِيَاءٌ،

وَالْقُرْآنُ حُحَّةٌ لَكَ أَوْ عَلَيْنِكَ ، كُلُّ النَّاسِ يَغْدُو فَبَايِعُ نَفْسَهُ فَمُعْتِقُهَا أَوْ مُؤَبِّقُهَا (رواه مسلم)

*“Ishaq bin Mansur menceritakan kepada kami, Habban bin Hilal menceritakan kepada kami, Aban menceritakan kepada kami, Yahya menceritakan kepada kami, sesungguhnya Zaid menceritakan kepada Yahya, sesungguhnya Abu Salam menceritakan kepada Zaid dari Abu Malik al-Asy’ari, dia berkata: Rasulullah s.a.w telah bersabda: “Kebersihan adalah sebagian dari iman. membaca hamdalah adalah bisa menambah timbangan amal, membaca hamdalah dan subhanallah pahalanya sebesar langit dan bumi. Sembahyang itu pelita, sedekah (derma itu bakti), sabar itu cahaya dan al-Qur’an akan menjadi kawan atau lawanmu, manusia itu sepanjang hidupnya bekerja untuk keselamatan dirinya atau kecelakaannya” (H.R. Muslim).*

Indikasi dari dua ayat di atas, berdasarkan kata yang artinya “bersih” atau “kebersihan” menjelaskan bahwa Allah dan Rasul-Nya senantiasa menganjurkan pada manusia untuk selalu menjaga kebersihan. Kebersihan yang dimaksud yaitu mencakup seluruh hal yang berhubungan dengan manusia, baik badan, barang maupun lingkungan, karena dengan menjaga kebersihan berarti telah menjaga salah satu pangkal keimanan. Nabi Muhammad sangat memperhatikan perihal kebersihan, Beliau mengingatkan umat-Nya untuk selalu menjaga kebersihan karena kebersihan berpengaruh bagi kesucian jiwa seseorang. Perintah tersebut disabdakan Nabi dalam hadits berikut ini:

الْإِسْلَامُ نَظِيفٌ فَتَنْظِفُوا فَإِنَّهُ لَا يَدْخُلُ الْجَنَّةَ إِلَّا نَظِيفٌ (رواه Baihaqi)

*"Bersihkan apa yang kamu sanggup, karena Allah mendirikan Islam itu di atas sendi kebersihan, tidaklah masuk surga kecuali orang yang bersih" (H.R. Baihaqi).*

Kebersihan merupakan sesuatu hal yang penting dalam Islam, karena hal tersebut sangat disukai Allah, sebagaimana firman-Nya berikut ini.

وَيَسْأَلُونَكَ عَنِ الْمَحِيضِ قُلْ هُوَ أَدَىٰ فَلَعَنَ لَوْلَا النِّسَاءَ فِي الْمَحِيضِ وَلَا تَقْرُبُوهُنَّ  
 حَتَّىٰ يَطْهُرْنَ فَإِذَا تَطَهَّرْنَ فَأْتُوهُنَّ مِنْ حَيْثُ أَمَرَكُمُ اللَّهُ إِنَّ اللَّهَ يُحِبُّ التَّوَّابِينَ  
 وَيُحِبُّ الْمُتَطَهِّرِينَ ﴿٢٢٢﴾

"Sesungguhnya Allah menyukai orang-orang yang bertaubat dan orang-orang yang menyucikan diri" (Q.S. al-Baqarah (2): 222).

Kebersihan juga merupakan pangkal dari kesehatan dan kekuatan. Manusia harus menjaga kebersihan agar terhindar dari penyakit, dalam konteks penelitian ini, kebersihan kaki, kaos kaki, dan sepatu harus dijaga agar tidak menjadi sarang penyakit. Selain itu, kebersihan yang dijaga dengan baik akan menjadi faktor pengikat yang kuat antar sesama manusia. Jika kebersihan kaki, kaos kaki dan sepatu terjaga maka tidak akan membuat orang lain merasa terganggu dengan bau yang tidak sedap.

## **BAB V PENUTUP**

### **5.1 Simpulan**

Berdasarkan hasil penelitian dengan pemaparan medan listrik berpulsa dan cahaya ultraviolet-C dengan waktu yang bervariasi dalam penonaktifan bakteri dari biofilm *Escherichia coli*, maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Medan listrik berpulsa berpengaruh terhadap pertumbuhan jumlah bakteri *Escherichia coli* pada biofilm. Semakin besar medan listrik berpulsa, maka semakin besar penurunan jumlah bakterinya. Medan listrik berpulsa 3,5 kV/cm dengan waktu pemaparan 25 menit dapat menurunkan jumlah bakteri sebesar 99,79 %.
2. Pengaruh medan listrik berpulsa dan cahaya ultraviolet-C terhadap penurunan bakteri *Escherichia coli* pada biofilm yang optimum digunakan adalah pada kuatmedan listrik berpulsa 3,5 kV/cm dengan intensitas cahaya ultraviolet-C 180 mW/cm<sup>2</sup> selama 25 menit dan pada kuatmedan listrik berpulsa 3,5 kV/cm dengan intensitas cahaya ultraviolet-C 260 mW/cm<sup>2</sup> selama 20 menit dan 25 menit dengan persentase penurunannya mencapai 100 %.
3. Waktu pemaparan medan listrik berpulsa dan cahaya ultraviolet-C mempengaruhi penurunan jumlah bakteri *Escherichia coli* pada biofilm. Semakin lama waktu pemaparan yang diberikan, maka semakin besar penurunan jumlah bakterinya. Penurunan jumlah bakteri mencapai 100 % dengan waktu pemaparan 20 menit dan 25 menit.

## 5.2 Saran

Berdasarkan kesimpulan di atas, maka penulis dapat menyarankan:

1. Pada saat melakukan penelitian, upayakan agar seluruh alat dan bahan yang digunakan dalam kondisi steril, agar tidak terjadi kontaminasi.
2. Untuk penelitian selanjutnya dapat dilakukan dengan variasi intensitas cahaya ultraviolet-C yang lebih rendah.
3. Teknik ini dapat digunakan untuk menonaktifkan bakteri lainnya.
4. Dapat dilakukan teknik kombinasi lainnya untuk menonaktifkan bakteri *Escherichia coli*.



## DAFTAR PUSTAKA

- Al-Maraghi, Ahmad Musthofa. 1992. *Terjemah Tafsir al-Maraghi*. Semarang: Toha.
- Apriliawan, Hadi. 2012. *Laban Electric Alat Pasteurisasi Susu Kejut Listrik Tegangan Tinggi (Pulsed Electric Fields) Menggunakan Flyback Transformer*. Prosiding seminar nasional mekanisme pertanian (hlm. 361-378). Bogor: BB Mekanisasi Pertanian.
- Ara *et al.* 2006. *Foot Odor Due To Microbial and Its Control*. Can J Microbil, 52(4): 357-364.
- Ariyadi, T dan Dewi S. 2009. *Pengaruh Sinar Ultraviolet Terhadap Pertumbuhan Bakteri Bacillus sp. Sebagai Bakteri Kontaminan*. Jurnal kesehatan, 2(2): 20-25.
- Astuti, Suryani D dkk. 2011. *Potensi Blue Light Emitting Diode (LED) untuk Fotoinaktivasi Bakteri Staphylococcus aureus dengan Forfirin Endogen*. JBP, 13(3): 155-163.
- Beuchat, JF. Hecht, E. 2006. *Fisika Universitas Edisi Kesepuluh*. Jakarta: Erlangga.
- Bonetta, S *et al.* 2010. *A Pulsed Electric Field (PEF) Bench Static System To Study Bacteria Inactivation*. 12<sup>th</sup> tropical seminar on innovative particle dan radiation detectors (IPRD10).
- Boulnois JL. 1986. *Photophysical Processes In Recent Medical Laser Developments: A Review*. Lasers med sci, 1: 47-66.
- Bueche *et al.* 2006. *Fisika Universitas Edisi Kesepuluh*. Jakarta: Erlangga.
- Castro *et al.* 1993. *Microbial Inactivation Of Foods by Pulsed Electric Fields*. J Food Proc Pr, 17: 47-73.
- Champbell, dkk. 2002. *Biologi Edisi Kelima Jilid 1*. Jakarta: Erlangga.
- Costerton, JW. 2006. *Battling Biofilm*. Scientific American, 61-67.
- Dearcon.1997. *Hydrodynamic Influences on Biofilms Formation and Growth*. Los Angeles: University of Southern California.
- Dogen A, Gumral R, Oksuz Z, Kaplan E, Serin MS, Ilkit M. 2013. *Epidemiology Of Dermatophytosis In Junior Combat and Non-Combat Sports Participants*. Mycoses, 56(2): 95-100.



- EPA. 1999. *EPA Guidance Manual Alternative Disinfectant and Oxidants*. Center for environmental research information, Cincinnati, OH.
- Fang *et al.* 2006. *Study On High-Voltage Pulsed Electric Fields Sterilization Mechanism Experiment*. *American science*, 2(2): 39-43.
- Fardiaz, S. 1992. *Mikrobiologi Pangan*. Jakarta: Gramedia Pustaka Utama.
- Feng P, *et. al.*, 2002. *Enumeration of Escherichia coli and the Coliform Bacteria Bacteriological Analytical Manual (8<sup>th</sup> ed)*. FDA/Center for Food Safety & Applied Nutrition.
- Ghannoum MA, Isham N, Long L. 2012. *Optimization of an Infected Shoemodel For The Evaluation of an Ultraviolet Shoe Sanitizer Device*. *J AmPodiatr Med Assoc*, 102(4): 309-313.
- Giancoli, Douglas C. 2001. *Fisika Edisi Kelima Jilid II*. Jakarta: Erlangga.
- Gould, GW. 1995. *New Methods Foods Preservatif*. New York: Chapman Hall.
- Hariono, Budi. 2012. *Pengembangan Sistem Pasteurisasi Berbasis Kombinasi Ultraviolet (UV) dan Medan Pulsa Listrik Tegangan Tinggi (HPEF) untuk Susu Kambing*. Disertasi. Bogor: IPB.
- Hawkins-Evans D, Abrahamse H. 2009. *A Review Of Laboratory-Based Methods To Investigate Second Messengers In Low-Level Laser Therapy (LLLT)*. *Med Laser Appl*, 24: 201–15.
- Koutchma TN, Larry JF, Carmen IM. 2009. *Ultraviolet Light In Food Technology: Principles and Application*. Boca Raton USA: CRC.
- Lastriyanto, A., Kuncahyo, E. D., dan Komar, N. 2011. *Desain dan Uji Prototype Alat Pasteurisasi Susu Berbasis Teknologi Irradiasi Ultraviolet (Kajian Dosis UV)*. *Jurnal Rekayasa Mesin*, 2(1): 7-16.
- Lay, BW. dan S. Hastowo. 1992. *Mikrobiologi*. Jakarta: Rajawali.
- Marks, Dawn B. Marks, Allan D. dan Smith, Colleen M. 1996. *Biokimia Kedokteran Dasar: Sebuah Pendekatan Klinis*. Jakarta: EGC.
- Messina *et al.* 2015. *Is it possible to sanitize athletes' shoes?*. *Athletic Training*, 50(2): 126-132.
- Moat, AG. Dan JW. Foster. 1988. *Microbiology Physiology Ed ke-2*. New York: A Wiley-Interscience Publ. J. Wiley.

- Murtono. 2008. *Konsep Cahaya dalam al-Qur'an dan Sains*. Jurnal Kaunia, 4(2): 147-158.
- Paraje *et al.* 2011. *Antimicrobial Resistance in Biofilms*. Argentina Formatex, 736-744.
- Peatross, Justin dan Ware, Michael. 2008. *Physics of Light and Optics*. Bringham Young University.
- Purim KS, Bordignon GP, Queiroz-Telles FD. 2005. *Fungal Infection Of The Feet In Soccer Players and Non-Athlete Individuals*. Rev Iberoam Micol, 22(1): 34-38.
- Qin, B.L., Chang F J., Barbosa-Casanovas, G. V. dan Swanson, B. G. dan Pedrow. 1998. *Inactivating Microorganism Using Continous Treatment System*. IEEE Trans Indus Applic, 34(1): 43-49.
- Russel AD. 2005. *Mechanisms of Action, Resistance and Stress Adaptation*. Di Dalam Davidson PM, Sofos JN dan Branen AL. editor. *Antimicrobial in Food*. 3 ed. Boca Raton: Taylor Francis.
- Sabadin *et al.* 2011. *Onychomycosis and Tinea Pedis In Athletes From The State Of Rio Grande Do Sul (Brazil): A Cross-Sectional Study*. Mycopathologis, 171(3): 183-189.
- Satwiko, Prasasto. 2004. *Fisika Bangunan 1 Edisi 2*. Yogyakarta: Andi.
- Schoenbach, K. H., Peterkin, F. E., Alden, R. W. dan Beebe, S. J. 1997. *The Effect Of Pulsed Electric Fields On Biological Cells: Experiments and Applications*. IEEE Trans Plasma Sci, 25(2): 284-292.
- Singal A, Khanna D. 2011. *Onychomycosis: Diagnosis and Management*. Indian J Dermatol Venereol Leprol, 77(6): 659-672.
- Soedjojo, Peter. 1999. *Fisika Dasar*. Yogyakarta: Andi.
- Steiner, Rudolf. 2011. *Laser-Tissue Interactions*. Laser and IPL Technology in Dermatology and Aesthetic Medicine: 23-36.
- Sutrisno. 1979. *Seri Fisika Dasar (Fisika Listrik dan Magnet)*. Bandung: ITB Press Bandung.
- Teissié J. *et al.* 2008. *Time Dependence Of Electric Field Effect Duration For Therapeutical Applications*. Radiol Oncol, 42(4): 196-206.

Tiran dkk. 2014. *Aktivitas Antibakteri Lotion Minyak Kayu Manis Terhadap Staphylococcus Epidermidis Penyebab Bau Kaki*. Farmasi Sains dan Komunitas, 72-80.

Todar, K. 2008. *Online Text Book of Bacteriology*. University of Wisconsin-Madison Department of Bacteriology.

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

Vega-Mercado et al. 1996. *Inactivation of E. Coli by combining pH, Ionic Strength and Pulsed Electric Fields Hurdles*. J Food Res Int, 29: 117-121.

Waluyo L. 2008. *Teknik Metode Dasar dalam Mikrobiologi*. Malang: UMM.

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

Wijayanto, N. dan Nurunnajah. 2012. *Intensitas Cahaya, Suhu, Kelembapan dan Perakaran Lateral Mahoni (Swietenia macrophylla King,) di RPH Babakan Madang, BKPH Bogor, KPH Bogor*. Jurnal Silvikultur Tropika, 03(01): 8-13.

Young, Hugh D dan Freedman, Roger A. 2004. *Fisika Universitas Edisi Kesepuluh Jilid 2*. Jakarta: Erlangga.



# LAMPIRAN

Lampiran 1. Rata-Rata Jumlah Bakteri *Escherichia Coli* Setelah Dipapari Medan Listrik Berpulsa dan Cahaya Ultraviolet-C

E (kV/cm)	I (mW/cm <sup>2</sup> )	t (menit)	Jumlah Koloni Bakteri (CFU/mL)			Rata-rata
			1	2	3	
0	0	0	231x10 <sup>7</sup>	232,2x10 <sup>7</sup>	232,2x10 <sup>7</sup>	231,5x10 <sup>7</sup>
3	100	5	85,50x10 <sup>7</sup>	84,50x10 <sup>7</sup>	85,00x10 <sup>7</sup>	85,000x10 <sup>7</sup>
		10	70,80x10 <sup>7</sup>	70,22x10 <sup>7</sup>	70,75x10 <sup>7</sup>	70,590x10 <sup>7</sup>
		15	47,64x10 <sup>7</sup>	47,50x10 <sup>7</sup>	46,64x10 <sup>7</sup>	47,261x10 <sup>7</sup>
		20	24,36x10 <sup>7</sup>	21,24x10 <sup>7</sup>	23,24x10 <sup>7</sup>	22,946x10 <sup>7</sup>
		25	19,02x10 <sup>7</sup>	19,02x10 <sup>7</sup>	19,00x10 <sup>7</sup>	19,011x10 <sup>7</sup>
	180	5	75,50x10 <sup>7</sup>	60,80x10 <sup>7</sup>	63,50x10 <sup>7</sup>	66,600x10 <sup>7</sup>
		10	42,28x10 <sup>7</sup>	42,25x10 <sup>7</sup>	42,27x10 <sup>7</sup>	42,267x10 <sup>7</sup>
		15	30,60x10 <sup>7</sup>	30,70x10 <sup>7</sup>	30,90x10 <sup>7</sup>	30,733x10 <sup>7</sup>
		20	21,36x10 <sup>7</sup>	21,25x10 <sup>7</sup>	21,64x10 <sup>7</sup>	21,412x10 <sup>7</sup>
		25	15,84x10 <sup>7</sup>	15,54x10 <sup>7</sup>	15,94x10 <sup>7</sup>	15,773x10 <sup>7</sup>
	260	5	34,24x10 <sup>7</sup>	32,75x10 <sup>7</sup>	31,22x10 <sup>7</sup>	32,737x10 <sup>7</sup>
		10	13,47x10 <sup>7</sup>	13,63x10 <sup>7</sup>	13,50x10 <sup>7</sup>	13,532x10 <sup>7</sup>
		15	10,46x10 <sup>7</sup>	10,74x10 <sup>7</sup>	10,85x10 <sup>7</sup>	10,683x10 <sup>7</sup>
		20	6,31x10 <sup>7</sup>	6,25x10 <sup>7</sup>	6,31x10 <sup>7</sup>	6,290x10 <sup>7</sup>
		25	1,70x10 <sup>7</sup>	1,65x10 <sup>7</sup>	1,65x10 <sup>7</sup>	1,667x10 <sup>7</sup>
3,25	100	5	50,00x10 <sup>7</sup>	48,80x10 <sup>7</sup>	52,90x10 <sup>7</sup>	50,567x10 <sup>7</sup>
		10	45,16x10 <sup>7</sup>	35,12x10 <sup>7</sup>	45,13x10 <sup>7</sup>	41,800x10 <sup>7</sup>
		15	29,19x10 <sup>7</sup>	28,02x10 <sup>7</sup>	29,01x10 <sup>7</sup>	28,739x10 <sup>7</sup>
		20	12,00x10 <sup>7</sup>	13,65x10 <sup>7</sup>	13,35x10 <sup>7</sup>	13,000x10 <sup>7</sup>
		25	6,67x10 <sup>7</sup>	4,28x10 <sup>7</sup>	6,65x10 <sup>7</sup>	5,867x10 <sup>7</sup>
	180	5	41,90x10 <sup>7</sup>	40,80x10 <sup>7</sup>	41,80x10 <sup>7</sup>	41,500x10 <sup>7</sup>
		10	25,28x10 <sup>7</sup>	25,96x10 <sup>7</sup>	25,84x10 <sup>7</sup>	25,693x10 <sup>7</sup>
		15	14,20x10 <sup>7</sup>	14,05x10 <sup>7</sup>	14,40x10 <sup>7</sup>	14,217x10 <sup>7</sup>
		20	8,35x10 <sup>7</sup>	8,50x10 <sup>7</sup>	8,40x10 <sup>7</sup>	8,417x10 <sup>7</sup>
		25	2,50x10 <sup>7</sup>	2,15x10 <sup>7</sup>	2,35x10 <sup>7</sup>	2,334x10 <sup>7</sup>
	260	5	19,21x10 <sup>7</sup>	19,35x10 <sup>7</sup>	19,50x10 <sup>7</sup>	19,353x10 <sup>7</sup>
		10	7,10x10 <sup>7</sup>	7,30x10 <sup>7</sup>	7,00x10 <sup>7</sup>	7,133x10 <sup>7</sup>
		15	1,65x10 <sup>7</sup>	1,45x10 <sup>7</sup>	1,35x10 <sup>7</sup>	1,485x10 <sup>7</sup>
		20	1,20x10 <sup>7</sup>	1,23x10 <sup>7</sup>	1,25x10 <sup>7</sup>	1,227x10 <sup>7</sup>
		25	0,76x10 <sup>7</sup>	0,77x10 <sup>7</sup>	0,77x10 <sup>7</sup>	0,767x10 <sup>7</sup>
3,5	100	5	36,46x10 <sup>7</sup>	35,05x10 <sup>7</sup>	36,46x10 <sup>7</sup>	35,989x10 <sup>7</sup>
		10	22,75x10 <sup>7</sup>	23,82x10 <sup>7</sup>	22,65x10 <sup>7</sup>	23,072x10 <sup>7</sup>
		15	11,34x10 <sup>7</sup>	12,75x10 <sup>7</sup>	11,45x10 <sup>7</sup>	11,847x10 <sup>7</sup>
		20	4,50x10 <sup>7</sup>	4,40x10 <sup>7</sup>	4,25x10 <sup>7</sup>	4,383x10 <sup>7</sup>
		25	1,75x10 <sup>7</sup>	1,65x10 <sup>7</sup>	0,95x10 <sup>7</sup>	1,450x10 <sup>7</sup>
	180	5	25,56x10 <sup>7</sup>	25,02x10 <sup>7</sup>	25,45x1 <sup>7</sup>	25,343x10 <sup>7</sup>
		10	12,15x10 <sup>7</sup>	12,05x10 <sup>7</sup>	11,97x10 <sup>7</sup>	12,057x10 <sup>7</sup>
		15	3,15x10 <sup>7</sup>	2,30x10 <sup>7</sup>	3,75x10 <sup>7</sup>	3,067x10 <sup>7</sup>

		20	0,01x10 <sup>7</sup>	0,30x10 <sup>7</sup>	0,00	0,102x10 <sup>7</sup>
		25	0,00	0,00	0,00	0,000
	260	5	10,7500000x10 <sup>7</sup>	10,7400000x10 <sup>7</sup>	10,3550000x10 <sup>7</sup>	10,6150000x10 <sup>7</sup>
		10	0,0008542x10 <sup>7</sup>	0,0008950x10 <sup>7</sup>	0,0008520x10 <sup>7</sup>	0,0008671x10 <sup>7</sup>
		15	0,0000660x10 <sup>7</sup>	0,0000620x10 <sup>7</sup>	0,0000660x10 <sup>7</sup>	0,0000647x10 <sup>7</sup>
		20	0,00	0,00	0,00	0,000
		25	0,00	0,00	0,00	0,000



Lampiran 2. Rata-Rata Jumlah Bakteri *Escherichia Coli* Setelah Dipapari Medan Listrik Berpulsa

medanlistrik		Mean	Std. Error	95 % Confidence Interval	
				Lower Bound	Upper Bound
1,0000000	1,0000000	61,446	,526	60,402	62,490
	2,0000000	42,130	,526	41,086	43,174
	3,0000000	29,559	,526	28,515	30,603
	4,0000000	16,882	,526	15,838	17,926
	5,0000000	12,150	,526	11,106	13,194
2,0000000	1,0000000	37,096	,526	36,051	38,140
	2,0000000	24,875	,526	23,831	25,919
	3,0000000	14,825	,526	13,780	15,869
	4,0000000	7,548	,526	6,504	8,592
	5,0000000	2,989	,526	1,945	4,033
3,0000000	1,0000000	23,982	,526	22,938	25,026
	2,0000000	11,710	,526	10,666	12,754
	3,0000000	4,971	,526	3,927	6,015
	4,0000000	1,495	,526	,451	2,539
	5,0000000	0,483	,526	-,561	1,527

Lampiran 3. Data Persentase Penurunan Bakteri *Escherichia coli* Setelah Dipapari Medan Listrik Berpulsa dan Cahaya Ultraviolet-C

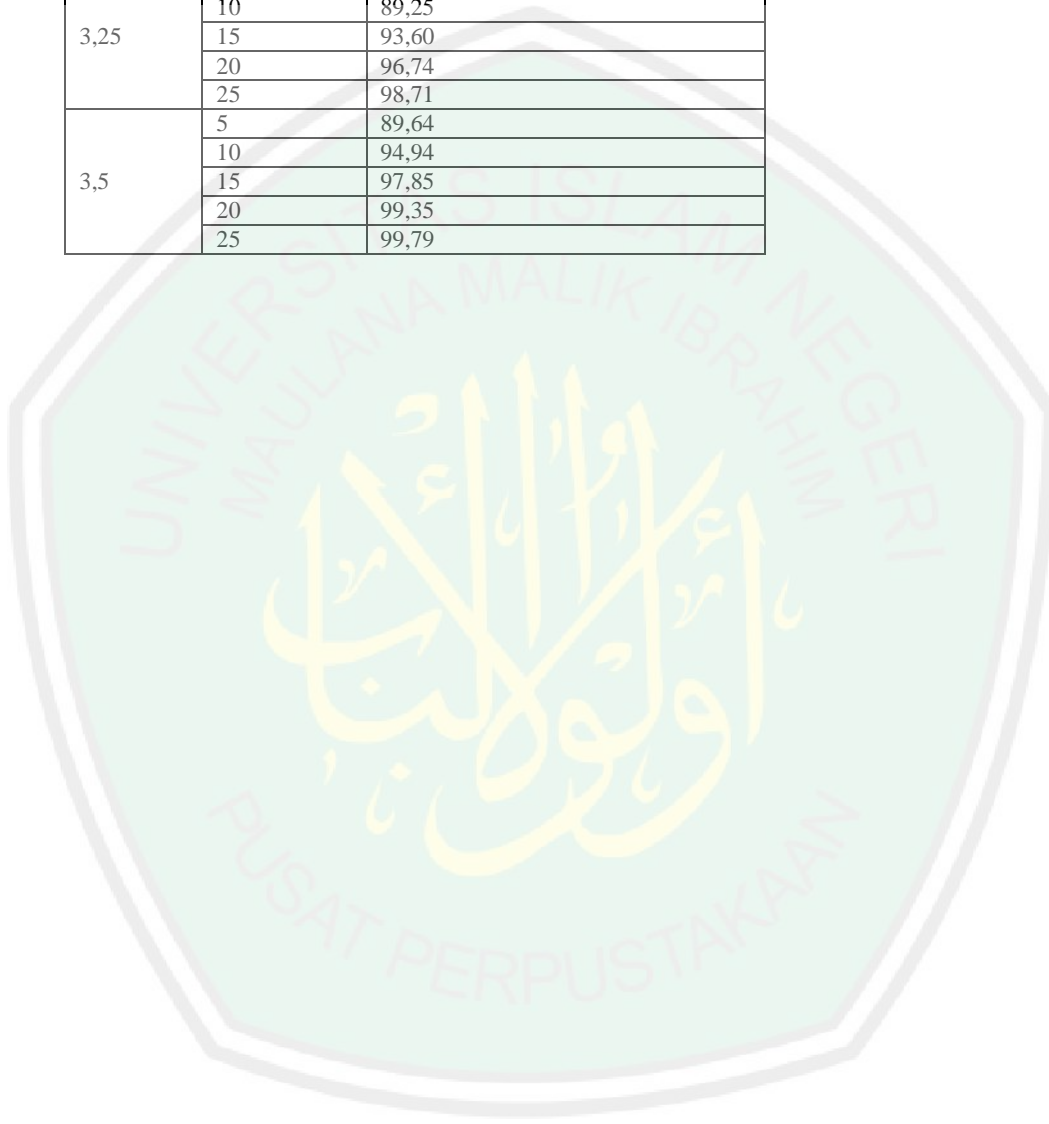
E (kV/cm)	I (mW/cm <sup>2</sup> )	Persentase Penurunan Jumlah Koloni Bakteri (%)				
		5 menit	10 menit	15 menit	20 menit	25 menit
3	100	63,3	69,5	79,6	90,1	91,8
	180	71,2	81,7	86,7	90,8	93,2
	260	85,9	94,2	95,4	97,3	99,3
3,25	100	78,2	81,9	87,6	94,4	97,5
	180	82,1	88,9	93,9	96,4	99,0
	260	91,6	96,9	99,4	99,5	99,7
3,5	100	84,5	90,0	94,9	98,1	99,4
	180	89,1	94,8	98,7	100,0	100,0
	260	95,4	100,0	100,0	100,0	100,0



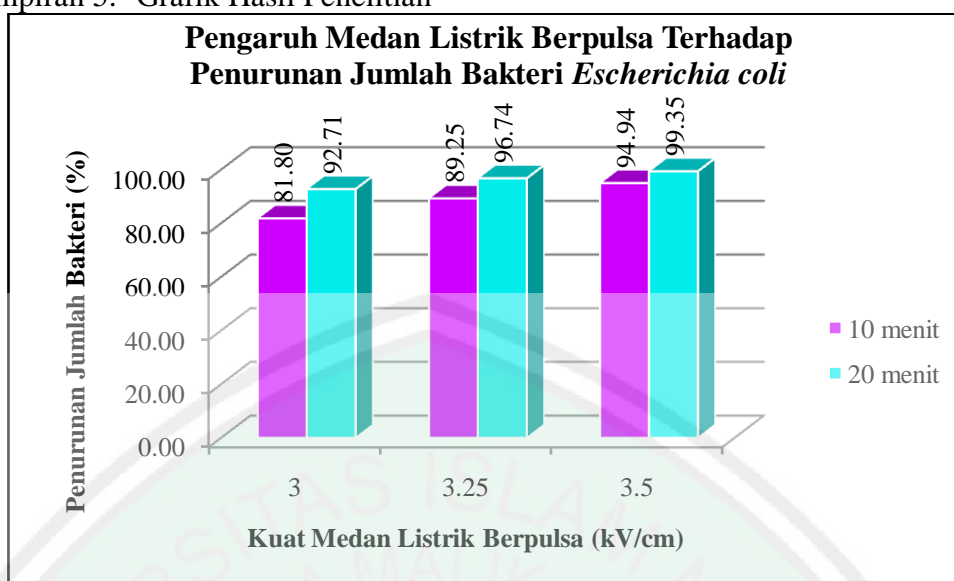


Lampiran 4. Data Persentase Penurunan Bakteri *Escherichia coli* Setelah Dipapari Medan Listrik Berpulsa

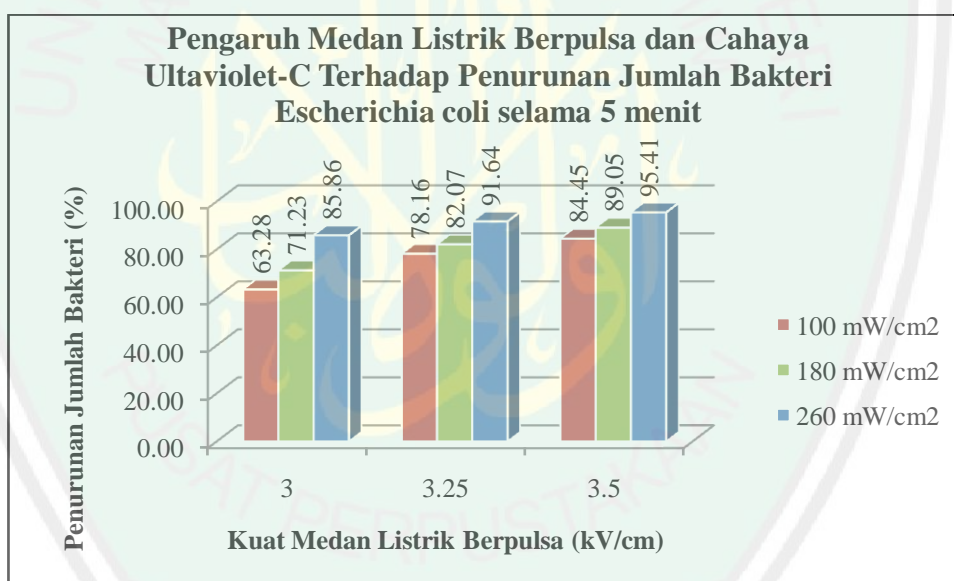
E (kV/cm)	t (menit)	Persentase Penurunan Jumlah Bakteri (%)
3	5	73,46
	10	81,80
	15	87,23
	20	92,71
	25	94,75
3,25	5	83,98
	10	89,25
	15	93,60
	20	96,74
	25	98,71
3,5	5	89,64
	10	94,94
	15	97,85
	20	99,35
	25	99,79



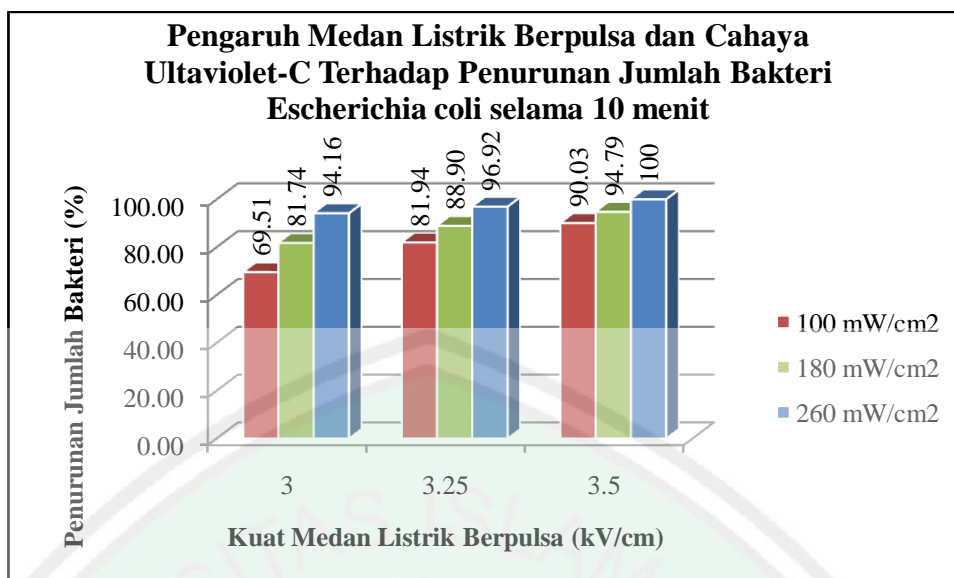
Lampiran 5. Grafik Hasil Penelitian



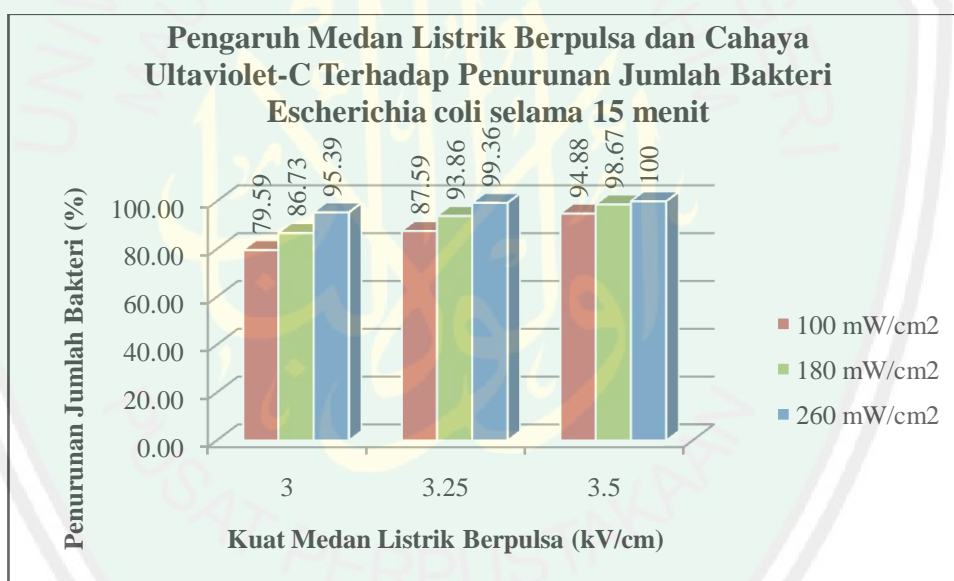
Gambar 1. Penurunan Jumlah Bakteri *Escherichia coli* setelah Dipapari Medan Listrik Berpulsa



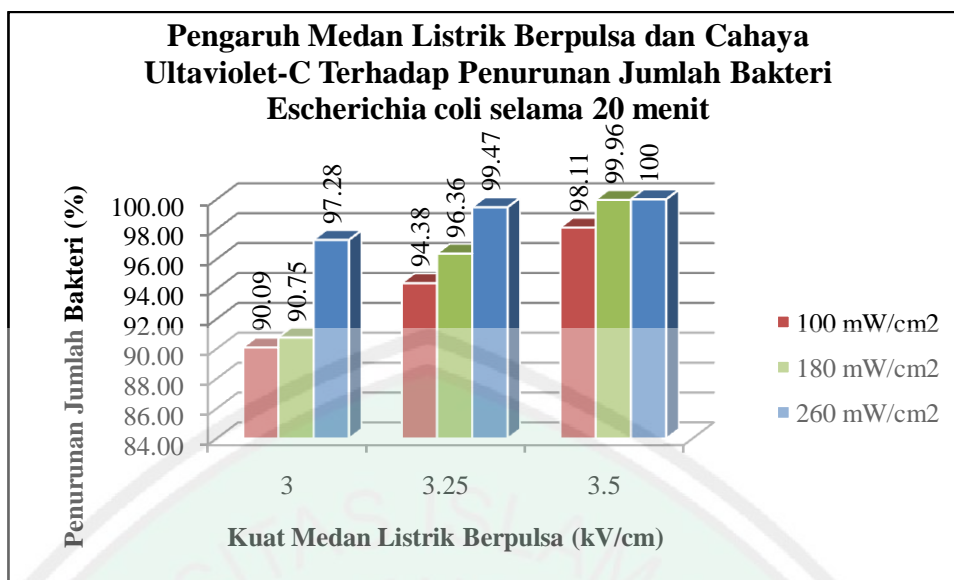
Gambar 2. Penurunan Jumlah Bakteri *Escherichia coli* setelah Dipapari Medan Listrik Berpulsa dan Cahaya Ultraviolet-C



Gambar 3. Penurunan Jumlah Bakteri *Escherichia coli* setelah Dipapari Medan Listrik Berpuls dan Cahaya Ultraviolet-C



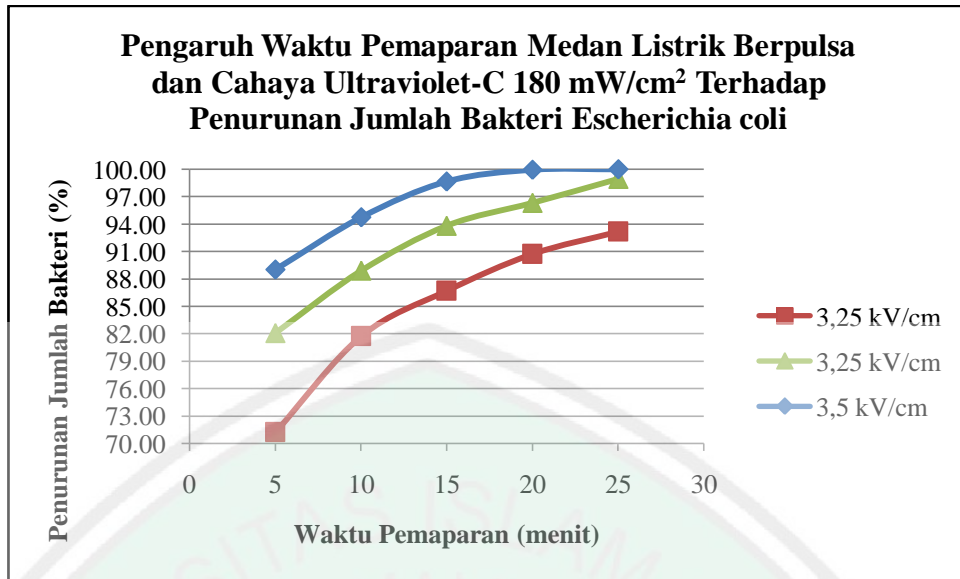
Gambar 4. Penurunan Jumlah Bakteri *Escherichia coli* setelah Dipapari Medan Listrik Berpuls dan Cahaya Ultraviolet-C



Gambar 5. Penurunan Jumlah Bakteri *Escherichia coli* setelah Dipapari Medan Listrik Berpuls dan Cahaya Ultraviolet-C



Gambar 6. Penurunan Jumlah Bakteri *Escherichia coli* setelah Dipapari Medan Listrik Berpuls dan Cahaya Ultraviolet-C dengan Variasi Waktu Pemaparan



Gambar 7. Penurunan Jumlah Bakteri *Escherichia coli* setelah Dipapari Medan Listrik Berpulsa dan Cahaya Ultraviolet-C dengan Variasi Waktu Pemaparan



Lampiran 6. Dokumentasi Kegiatan



Proses Merangkai Alat Medan Listrik



Box yang Digunakan dalam Penelitian



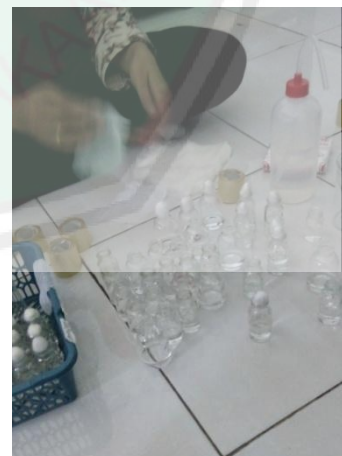
Proses Penimbangan Bahan



Proses Pembuatan Media



Media Siap Digunakan



Proses Pengisian Aquades



Aquades Siap Disterilisasi



Lempeng Sepatu yang Siap Disterilisasi



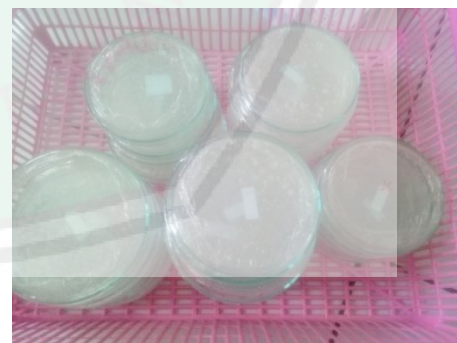
Proses Inkubasi Bakteri



Proses Penghitungan Bakteri



Alat dan Bahan yang Digunakan dalam Penelitian



Bakteri yang Telah Diinkubasi



KEMENTERIAN AGAMA RI  
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI (UIN) MAULANA MALIK IBRAHIM MALANG  
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI  
Jl. Gajayana No. 50 Dinoyo Malang (0341) 551345 Fax. (0341) 572533

**BUKTI KONSULTASI SKRIPSI**

**Nama** : LAILIA NUR FAIZSA  
**NIM** : 13640062  
**Fakultas/ Jurusan** : Sains dan Teknologi/Fisika  
**Judul Skripsi** : Pengaruh Medan Listrik Berpulsa dan Cahaya Ultraviolet-C Terhadap Pertumbuhan Biofilm *Escherichia coli*  
**Pembimbing I** : Ahmad Abtokhi M.Pd  
**Pembimbing II** : Drs. Abdul Basid, M.Si

No	Tanggal	HAL	Tanda Tangan
1	28 Maret 2017	Konsultasi Bab I	
2	30 Maret 2017	Konsultasi Bab II dan III	
3	4 Juli 2017	Konsultasi Pemaparan Data	
4	2 Agustus 2017	Konsultasi Pemaparan Data	
5	12 September 2017	Konsultasi Pembahasan	
6	18 September 2017	Konsultasi Bab IV dan Bab V	
7	21 September 2017	Konsultasi Agama	
8	25 September 2017	Konsultasi Agama	
9	3 Oktober 2017	Konsultasi semua bab, abstrak dan ACC	
10	4 Oktober 2017	Konsultasi Agama dan ACC	

Malang, November 2017  
Mengetahui,  
Ketua Jurusan Fisika,



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