

**PENGARUH CAHAYA ULTRAVIOLET C (UV-C)  
DAN KELEMBABAN UDARA (RH) TERHADAP JUMLAH  
BAKTERI *Escherichia coli* PADA KULIT SEPATU**

**SKRIPSI**

Oleh:  
**SITI LOMRAH**  
**NIM. 13640084**



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

**PENGARUH CAHAYA ULTRAVIOLET C (UV-C)  
DAN KELEMBABAN UDARA (RH)  
TERHADAP JUMLAH BAKTERI *Escherichia coli* PADA KULIT SEPATU**

**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:

**SITI LOMRAH  
NIM. 13640084**

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

**HALAMAN PERSETUJUAN**

**PENGARUH CAHAYA ULTRAVIOLET C (UV-C)  
DAN KELEMBABAN UDARA (RH)  
TERHADAP JUMLAH BAKTERI *Escherichia coli* PADA KULIT SEPATU**

SKRIPSI

Oleh:  
SITI LOMRAH  
NIM. 13640084

Telah Diperiksa dan Disetujui untuk Diuji:  
Tanggal : 09 November 2017

Pembimbing I,



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

Pembimbing II,



Umaiatus Syarifah, MA  
NIP. 19820925 2009 01 2 005

Mengetahui,  
Ketua Jurusan Fisika



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

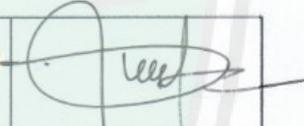
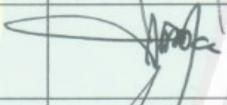
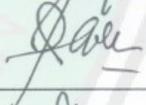
**HALAMAN PENGESAHAN**

**PENGARUH CAHAYA ULTRAVIOLET C (UV-C)  
DAN KELEMBABAN UDARA (RH)  
TERHADAP JUMLAH BAKTERI *Escherichia coli* PADA KULIT SEPATU**

SKRIPSI

Oleh:  
SITI LOMRAH  
NIM. 13640084

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>Umairatus Syarifah, MA</u> NIP. 19820925 200901 2 005	

Mengesahkan,  
Ketua Jurusan Fisika



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

**PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN**

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : SITI LOMRAH  
NIM : 13640084  
Jurusan : FISIKA  
Fakultas : SAINS DAN TEKNOLOGI  
Judul Penelitian : Pengaruh Cahaya Ultraviolet C (UV-C) dan Kelembaban Udara (RH) Terhadap Jumlah Bakteri *Escherichia coli* Pada Kulit Sepatu.

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

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

Malang,  
Yang Membuat  
Pernyataan,



SITI LOMRAH.  
NIM. 13640084

MOTTO

فاذا عزمست توكل على الله



## HALAMAN PERSEMBAHAN

### *Ungkapan hati sebagai rasa Terima Kasihku*

*Alhamdulillahirabbil' alamin.... Alhamdulillahirabbil' alamin....  
Alhamdulillahirabbil' alamin....  
Akhirnya aku sampai ke titik ini,  
sepercik keberhasilan yang Engkau hadiahkan padaku ya Rabb  
Tak henti-hentinya aku mengucapkan syukur pada Mu ya Rabb  
Serta shalawat dan salam kepada idola ku Rasulullah SAW dan para sahabat yang mulia  
Semoga sebuah karya ini menjadi amal shaleh bagiku dan menjadi kebanggaan  
bagi keluargaku tercinta  
Ku persembahkan karya ini. . .  
Untuk suami terkasih Muhammad Agi Sugiyono yang telah memberikan segalanya  
Terimakasih atas doa, semangat, dan dukungan moral spiritual,  
materiil maupun immateriil sehingga saya bisa menyelesaikan skripsi ini  
untuk belahan jiwa ku bidadari surgaku yang tanpamu aku bukanlah siapa-siapa  
di dunia fana ini Ibundaku tersayang, Ibu Siti Mulyati  
serta orang yang menginjeksikan segala idealisme, prinsip, edukasi dan kasih sayang  
berlimpah dengan wajah datar menyimpan kegelisahan atautkah perjuangan yang tidak  
pernah ku ketahui,  
namun tenang temaram dengan penuh kesabaran  
dan pengertian luar biasa Ayahandaku tercinta, Bapak Ahmad Muttaqin  
yang telah memberikan segalanya untukku  
Kepada Kakak-kakakku dan Adik-Adikku  
terima kasih tiada tara atas segala support yang telah diberikan selama ini dan  
semoga kalian dapat menggapai keberhasilan juga di kemudian hari.*

## KATA PENGANTAR



*Assalamualaikum 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 Rasulallah, Nabi besar Muhammad SAW serta para keluarga, sahabat, dan pengikut-pengikutnya. Atas Ridho dan Kehendak Allah SWT, Penulis Dapat Menyelesaikan Skripsi Yang Berjudul **Pengaruh Cahaya Ultraviolet C (UV-C) dan Kelembaban Udara (RH) terhadap Jumlah Bakteri *Escherichia coli* pada Kulit Sepatu** 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 banyak 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 Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang yang telah banyak meluangkan waktu, nasehat 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 dan memberikan bimbingan, bantuan serta pengarahan kepada penulis sehingga skripsi ini dapat terselesaikan.

5. Umaiatus Syarifah, MA selaku dosen pembimbing integrasi yang bersedia meluangkan waktu untuk memberikan bimbingan dan pengarahan bidang integrasi Sains dan al-Quran 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 Muttaqin, Ibu Siti Mulyati dan suami tercinta Muhammad Agi Sugiyono serta semua keluarga yang telah memberikan dukungan, restu, serta selalu mendoakan disetiap langkah penulis.
8. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu, yang telah banyak membantu dalam penyelesaian skripsi ini.

Semoga skripsi ini bisa memberikan manfaat, tambahan ilmu dan 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
المخلص .....	xvii
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	5
1.3 Tujuan .....	6
1.4 Manfaat .....	6
1.5 Batasan Masalah .....	6
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	7
2.1 Cahaya Ultraviolet (UV) .....	7
2.1.1 Intensitas Cahaya Ultraviolet .....	10
2.1.2 Interaksi Cahaya UV terhadap Kematian Bakteri .....	12
2.2 Kelembaban Udara (RH) .....	16
2.2.1 Definisi Kelembaban Udara .....	16
2.2.2 Pengaruh Kelembaban Terhadap Pertumbuhan Bakteri .....	16
2.3 Bakteri <i>Escherichia coli</i> .....	18
2.3.1 Taxonomi Bakteri <i>Escherichia coli</i> .....	20
2.3.2 Morfologi Bakteri <i>Escherichia coli</i> .....	21
<b>BAB III METODE PENELITIAN</b> .....	23
3.1 Jenis Penelitian .....	23
3.2 Waktu dan Tempat Penelitian .....	23
3.3 Alat dan Bahan Penelitian .....	23
3.3.1 Alat-alat Penelitian .....	23
3.3.2 Bahan-Bahan Penelitian .....	24
3.4 Desain Rancangan Alat .....	24
3.5 Rancangan Penelitian .....	26
3.6 Prosedur Penelitian .....	27
3.6.1 Sterilisasi .....	27
3.6.2 Pembuatan Media NA ( <i>Nitrien Ager</i> ) .....	28
3.6.3 Pembuatan Media NB ( <i>Nitrien Broth</i> ) .....	28
3.6.4 Pembuatan Media PCA ( <i>Plate Count Agar</i> ) .....	28
3.6.5 Pembuatan Bakteri <i>Escherichia coli</i> .....	29

3.6.6 Pembuatan Biofilm Bkateri <i>Escherichia coli</i> .....	29
3.6.7 Paparan Cahaya Ultraviolet C dan Kelembaban Udara.....	29
3.6.8 Dilusi (Pengenceran).....	30
3.6.9 Penghitungan Koloni Bakteri .....	31
3.7 Teknik Pengumpulan Data.....	31
3.8 Teknik Analisis Data .....	32
<b>BAB IV DATA DAN PEMBAHASAN</b> .....	34
4.1 Hasil Penelitian .....	34
4.1.1 Pengaruh Intensitas Cahaya Ultraviolet-C Terhadap Jumlah Bakteri <i>Escherichia coli</i> .....	35
4.1.2 Pengaruh Intensitas Cahaya Ultraviolet-C dan Kelembaban Udara Terhadap Jumlah Bakteri <i>Escherichia coli</i> .....	38
4.1.3 Pengaruh Waktu Pemaparan Intensitas Cahaya Ultraviolet-C dan Kelembaban Udara Terhadap Jumlah Bakteri <i>Escherichia coli</i> .....	40
4.2 Pembahasan .....	44
4.2.1 Pengaruh Intensitas Cahaya Ultraviolet-C Terhadap Jumlah Bakteri <i>Escherichia coli</i> .....	44
4.2.2 Pengaruh Intensitas Cahaya Ultraviolet-C dan Kelembaban Udara Terhadap Jumlah Bakteri <i>Escherichia coli</i> .....	45
4.2.3 Pengaruh Waktu Pemaparan Intensitas Cahaya Ultraviolet-C dan Kelembaban Udara Terhadap Jumlah Bakteri <i>Escherichia coli</i> .....	48
4.3 Kebersihan dalam Tinjauan Islam .....	49
<b>BAB V PENUTUP</b> .....	54
5.1 Kesimpulan .....	54
5.2 Saran .....	55
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	
<b>LAMPIRAN</b>	

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Struktur DNA yang Pecah Karena Terpapar Sinar UV.....	14
Gambar 2.2	Efek Sinar UV-C pada DNA .....	14
Gambar 2.3	Permukaan Sel Bakteri <i>Escherichia coli</i> pada Kelembaban 93% .....	17
Gambar 2.4	Bakteri <i>Escherichia coli</i> .....	20
Gambar 2.5	Morfologi Bakteri <i>E.coli</i> .....	22
Gambar 3.1	Rangkaian Penelitian .....	24
Gambar 3.2	Rangkaian Penelitian Tampak Atas.....	25
Gambar 3.3	Diagram Alir Penelitian.....	26
Gambar 4.1	Diagram Persentase Penurunan Jumlah Bakteri <i>Escherichia coli</i> dengan Variasi Intensitas Cahaya Ultraviolet-C .....	36
Gambar 4.2	Diagram Persentase Penurunan Jumlah Bakteri <i>Escherichia coli</i> dengan Variasi Intensitas Cahaya Ultraviolet-C dan Kelembaban Udara .....	39
Gambar 4.3	Diagram Persentase Penurunan Jumlah Bakteri <i>Escherichia coli</i> dengan Variasi Waktu Pemaparan.....	43

## DAFTAR TABEL

Tabel 3.1	Data Rata-Rata Jumlah Koloni Bakteri <i>Escherichia coli</i> Setelah Dipapari Cahaya UV-C selama 60 menit .....	32
Tabel 3.2	Data Rata-Rata Jumlah Koloni Bakteri <i>Escherichia coli</i> Setelah Dipapari Cahaya UV-C dan Kelembaban (RH) selama 60 menit..	32
Tabel 3.3	Data Rata-Rata Jumlah Koloni Bakteri <i>Escherichia coli</i> Setelah Dipapari Cahaya UV-C 260 mW/cm <sup>2</sup> dan Kelembaban (RH) 60-70 % dengan Variasi Waktu Pemaparan .....	32
Tabel 4.1	Rata-Rata dan Penurunan Jumlah Koloni Bakteri <i>Escherichia coli</i> Setelah Dipapari Cahaya UV-C.....	35
Tabel 4.2	Rata-Rata dan Penurun Jumlah Koloni Bakteri <i>Escherichia coli</i> Setelah Dipapari Cahaya UV-C dan Kelembaban (RH) selama 60 menit .....	38
Tabel 4.3	Rata-Rata dan Penurun Jumlah Koloni Bakteri <i>Escherichia coli</i> Setelah Dipapari Cahaya UV-C 260 mW/cm <sup>2</sup> dan Kelembaban (RH) 60-70 % dengan Variasi Waktu Pemaparan.....	41

## DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1 Rata-Rata Jumlah Koloni Bakteri *Escherichia coli* Setelah Dipapari Cahaya Ultraviolet-C dan Kelembaban Udara.
- Lampiran 2 Data Rata-Rata Jumlah Koloni Bakteri *Escherichia coli* Setelah Dipapari Cahaya Ultraviolet-C.
- Lampiran 3 Persentase Penurunan Jumlah Bakteri *Escherichia coli* setelah Diapari Cahaya UV-C dan Kelembaban Udara.
- Lampiran 4 Persentase Penurunan Jumlah Bakteri *Escherichia coli* setelah Diapari Cahaya UV-C
- Lampiran 5 Grafik Hasil Penelitian.
- Lampiran 6 Dokumentasi Kegiatan Penelitian.



## ABSTRAK

Lomrah, Siti. 2017. **Pengaruh Cahaya Ultraviolet C (UV-C) dan Kelembaban Udara (RH) terhadap Jumlah Bakteri *Escherichia coli* pada Kulit Sepatu.** Tugas akhir/ skripsi. Jurusan Fisika Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang. Pembimbing: (I) Ahmad Abtokhi, M.Pd (II) Umaiatus Syarifah, M.A

---

**Kata Kunci:** Cahaya UV-C, Kelembaban Udara (RH), *Escherichia coli*.

Kaki merupakan salah satu anggota tubuh yang mengeluarkan keringat dalam jumlah yang banyak. Keringat yang dihasilkan dapat menumbuhkan bakteri pada kaki. Akibat adanya bakteri dan keringat yang bercampur menyebabkan masalah yaitu bau pada kaki. Salah satu bakteri penyebab bau kaki adalah bakteri *Escherichia coli*. Pengendalian bakteri *Escherichia coli* dapat dilakukan dengan melakukan penyinaran ultraviolet dan kelembaban udara. Tujuan penelitian ini untuk mengetahui pengaruh intensitas cahaya ultraviolet C, kombinasi cahaya ultraviolet C dengan kelembaban dan lama pemaparan terhadap jumlah bakteri *Escherichia coli*. Metode penelitian ini diawali dengan pembuatan biofilm. Biofilm yang terbentuk kemudian dipapari cahaya UV-C dengan intensitas 100 mW/cm<sup>2</sup>, 180 mW/cm<sup>2</sup>, 260 mW/cm<sup>2</sup> dan kelembaban udara 81-90%, 71-80%, 60-70%, selama 20, 30, 40, 50 dan 60 menit. Hasil penelitian menunjukkan bahwa cahaya ultraviolet-C, kombinasi cahaya ultraviolet C dengan kelembaban dan lama pemaparan mempengaruhi jumlah koloni bakteri *Escherichia coli*. Cahaya ultraviolet C menyebabkan kerusakan pada DNA sementara kelembaban udara menyebabkan kerusakan pada dinding sel dan bakteri mengalami dehidrasi. Perlakuan optimum untuk mereduksi bakteri *Escherichia coli* pada saat intensitas cahaya ultraviolet C 260 mW/cm<sup>2</sup>, kelembaban 60-70 % selama 60 menit dengan persentase penurunan jumlah bakteri *Escherichia coli* mencapai 99,4 %.

## ABSTRACT

Lomrah, Siti. 2017. **The effect of light in the Ultraviolet C (UV-C) and humidity (RH) of the number of *Escherichia coli* Bacteria on Leather Shoes.** Thesis. Physics Department, Faculty of Science and Technology, State Islamic University of Maulana Malik Ibrahim Malang. Supervisor: (I) Ahmad Abtokhi, M.Pd (II) Umaiatus Syarifah, M.A

---

**Keyword:** UV-C light, humidity (RH), *Escherichia coli*

The foot is one of the body part that sweating in large quantities. the resulting sweat can pound the bacteria on the feet. Due to the presence of bacteria and sweat that mixed causes a problem that is the smell on the feet. One of the bacteria that causes foot odor is the bacteria *Escherichia coli*. Control of *Escherichia coli* bacteria can be done by conducting ultraviolet irradiation and air humidity. The purpose of this research is to know the effect of intensity of ultraviolet C light, combination of ultraviolet C light with moisture and exposure time to the amount of *Escherichia coli* bacteria. This research method begins with the making of biofilm. The formed biofilms are then exposed to UV-C light with an intensity of 100 mW/cm<sup>2</sup>, 180 mW/cm<sup>2</sup>, 260 mW/cm<sup>2</sup> and air humidity 81-90%, 71-80%, 60-70%, for 20, 30, 40, 50 and 60 minutes. The results show that C-ultraviolet light, a combination of ultraviolet C light with moisture and long exposure affect the number of colonies of *Escherichia coli* bacteria. Ultraviolet C light causes damage to DNA while air humidity causes damage to cell walls and bacteria are dehydrated. Optimum treatment to reduce *Escherichia coli* bacteria at the intensity of ultraviolet light C 260 mW/cm<sup>2</sup>, humidity 60-70 % for 60 minutes with the percentage of melting of *Escherichia coli* bacteria reach 99.4%.

## المخلص

لومره. ستي. ٢٠١٧. تأثير الضوء في الاشعه فوق البنفسجية c (الاشعه فوق البنفسجية-ج) والرطوبة (RH) من عدد من البكتيريا ايتشيرسيا كولاي علي الاحديه الجلدية. البحث الجامعي. قسم الفيزياء، كلية العلوم والتكنولوجيا في جامعة الإسلامية الحكومية مولانا مالك إبراهيم مالانج. المشرفة الاول : احمد ابطحي الماجستير، والمشرفة الثانية: أمية الشريفة، الماجستير

الكلمات الرئيسية: ضوء الاشعه فوق البنفسجية c، والرطوبة (RH) ، البكتيريا ايتشيرسيا كولاي.

القدم هو واحد من أعضاء الجسم الذي أصدر العرق باعداد كبير. يمكن ان تنمو البكتيريا الناتجة عن العرق على القدمين. بسبب وجود البكتيريا والعرق مختلطة معا مما تسبب في المشكلة وهي رائحة على القدمين. البكتيريا المسببة لرائحة القدم واحد هو بكتيريا القولونية. يمكن القيام بالسيطرة على بكتيريا القولون القولونية عن طريق القيام بضيء الاشعه فوق البنفسجية والرطوبة الجوية. والغرض من هذا البحث هو معرفه تأثير شدة الضوء والاشعه فوق البنفسجية c ، وهو مزيج من الاشعه فوق البنفسجية c مع الرطوبة والتعرض الطويل لبكتيريا ايتشيرسيا القولونية. وتبدأ طريقه هذا البحث بصنع الفيلم الثنائي. الثنائية التي تشكل ثم الاشعه فوق البنفسجية-C الخفيفة مع كثافة ١٠٠ ميغاواط/سم<sup>٣</sup> ، ١٨٠ ميغاواط/سم<sup>٣</sup> ، ٢٦٠ ميغاواط/سم<sup>٣</sup> والرطوبة الجوية ٨١-٩٠٪ ، ٧١-٨٠٪ ، ٦٠-٧٠٪ ، ل ٢٠ ، ٣٠ ، ٤٠ ، ٥٠ و ٦٠ دقيقة. وأظهرت النتائج ان الاشعه فوق البنفسجية-C الخفيفة ، والاشعه فوق البنفسجية مزيج جيم مع الرطوبة والتعرض الطويل يؤثر على عدد من المستعمرات البكتيرية ايتشيرسيا القولونية. ويتسبب الضوء فوق البنفسجي C في تلف الحمض النووي بينما يسبب الهواء الرطب ضررا لجدار الخلية البكتيرية ومجفقا. العلاج الأمثل للحد من البكتيريا القولونية القولون على كثافة الضوء والاشعه فوق البنفسجية C 260 ميغاواط/سم<sup>٣</sup> ، والرطوبة ٦٠-٧٠٪ لدهه ٦٠ دقيقة مع نسبة مئوية من العدد الإجمالي للبكتيريا البكتيريا القولونية التي وصلت إلى ٩٩,٤٪.

# **BAB I PENDAHULUAN**

## **1.1 Latar Belakang**

Sepatu merupakan alas kaki yang paling sering digunakan baik ke sekolah, kampus, maupun tempat kerja. Fungsi dari sepatu adalah untuk menambah rasa percaya diri (unifit, 2015). Selain itu, untuk melindungi kaki agar tidak cedera dari kondisi lingkungan seperti permukaan tanah yang berbatu-batu, udara panas maupun dingin. Kaki merupakan salah satu bagian tubuh yang mudah terkena infeksi akibat bakteri dan jamur (Singal *et al*, 2011). Infeksi pada kaki menyebabkan masalah yaitu bau kaki atau dikenal dengan istilah bromhidrosis (Mark, 2011). Bromhidrosis adalah kelompok bakteri yang ada di dalam tubuh yang bisa menghasilkan bau.

Penyebab bau kaki yang pertama adalah akibat bakteri yang bercampur dengan keringat (Salika NS, 2010). Kaki merupakan bagian anggota tubuh yang banyak mengeluarkan keringat (Toselli, 2011) atau disebut dengan hiperhidrosis. Hiperhidrosis adalah salah satu masalah produksi keringat yang berlebihan. Terdapat sekitar 250.000 kelenjar keringat pada kaki, kelenjar ini mengeluarkan secangkir kelembaban tubuh setiap hari (Toselli, 2011) dengan kelembaban yang meningkat menyebabkan bakteri yang tumbuh semakin banyak (Ladock, 2012), penyebab bau kaki yang kedua adalah pemakaian bahan penutup kaki yang salah, yaitu sepatu dari bahan plastik atau sintetis yang sulit menyerap keringat sehingga kaki menjadi lembap (Salika NS, 2010). Selain itu, penggunaan sepatu dan kaos kaki secara terus menerus tanpa dibersihkan (Toselli, 2011).

Bakteri *Escherichia coli* diketahui merupakan salah satu bakteri penyebab bau kaki. Sebuah penelitian mengenai bakteri penyebab bau kaki 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. Bakteri *Escherichia coli* merupakan bakteri gram negatif berbentuk batang pendek yang memiliki panjang sekitar 2  $\mu\text{m}$ , diameter 0,7  $\mu\text{m}$ , lebar 0,4-0,7  $\mu\text{m}$  dan bersifat anaerob fakultatif. *Escherichia coli* membentuk koloni yang bundar, cembung, dan halus dengan tepi yang nyata (Smith-Keary, 1988; Jawetz et al., 1995).

Kaki yang sehat adalah kaki yang bersih, mulus dan bercahaya, tidak kering, pecah pecah apalagi bau dan berjamur (Salika NS, 2010). Salah satu upaya yang bisa dilakukan untuk menghindari masalah bau kaki adalah dengan menjaga kebersihan kaki itu sendiri dan menjaga kaki tetap kering (Mark, 2011). Sebagaimana firman Allah SWT dalam Q.S al-Mudatsir (74): 4-5):

وَتِيَابَكَ فَطَهِّرْ ۖ ﴿٤﴾ وَالرُّجْزَ فَاهْجُرْ ۖ ﴿٥﴾

“dan bersihkanlah pakaianmu, dan tinggalkanlah segala (perbuatan) yang keji” (Q.S al-Mudatsir (74): 4-5).

Serta dalam Q.S al-Baqarah (2): 222.

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

*"Dan mereka menanyakan kepadamu (Muhammad) tentang haid. Katakanlah, "Itu adalah sesuatu yang kotor." Karena itu jauhilah-\* istri pada waktu haid, dan jangan kamu dekati mereka sebelum mereka suci-\*. Apabila mereka telah suci, campurilah mereka sesuai dengan (ketentuan) yang diperintahkan Allah kepadamu. Sungguh, Allah menyukai orang yang tobat, dan menyukai orang yang menyucikan diri." (Q.S al-Baqarah (2): 222).*

Indikasi dari Q.S al-Mudatsir (74): 4-5 dan Q.S al-Baqarah (2): 222 bahwa Allah SWT telah memerintahkan kepada manusia untuk selalu menjaga kebersihan. Indikasi tersebut berdasarkan pada kata طَهَّرَ dan الْمُتَطَهِّرِينَ yang bermakna bersihkanlah dan orang yang membersihkan diri (Munawwir, 2007). Menjaga kebersihan berarti menghilangkan semua hal-hal yang kotor, termasuk menjaga kebersihan pada sepatu dengan menghilangkan bakteri yang menjadi penyebab bau kaki pada sepatu.

Upaya dalam menanggulangi bau kaki pada sepatu yaitu dengan penggunaan sepatu yang terbuat dari bahan alami seperti kulit atau kain, penggunaan kaos kaki berbahan katun yang dapat membantu kaki tetap kering (Salika NS, 2010), sepatu yang memiliki lubang ventilasi agar kaki dapat bernafas, mengganti kaos kaki setiap hari atau dua kali sehari (unifit, 2015), menaburkan kopi bubuk pada kaki setiap pagi dan malam (Hartanti, 2010) kemudian melakukan pencucian sepatu dan kaos kaki dengan deterjen atau juga menggunakan bahan kimia lain yang dapat menghilangkan 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. Solusi yang digunakan adalah dengan menggunakan cahaya ultraviolet (sinar UV). Sinar UV dapat menyebabkan terbentuknya ikatan kovalen antara dua molekul timin, menghasilkan timin dimer. Timin dimer ini menyebabkan kerusakan serius dan kematian sel karena DNA dengan timin dimer tidak dapat direplikasi dan ditranskripsi (Effendy, 1997) sehingga bakteri akan mati. Kemudian dengan menggunakan parameter kelembaban untuk mengetahui pengaruh dari keduanya terhadap bakteri.

Interaksi sinar ultraviolet-C dengan bakteri yaitu sinar yang dipancarkan akan mengenai bakteri, dimana sinar yang mengenai bakteri tersebut akan mengalami absorpsi dan selanjutnya akan mengalami eksitasi sehingga bakteri yang terpapar sinar ultraviolet-C akan menghasilkan dua macam keadaan tereksitasi yaitu keadaan singlet dan triplet, dan bakteri tersebut akan mengalami proses fotokimia.

Penggunaan sinar UV untuk menginaktivasi bakteri telah dilakukan oleh T. 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.* Biakan bakteri tersebut dibuat suspensi dengan kepadatan sebesar 2 Mc Farland. Selanjutnya bakteri dipapari sinar UV 38 watt dengan jarak 45 cm selama 1 menit, 5 menit, 10 menit, 15 menit. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa penyinaran dengan menggunakan sinar ultraviolet selama 10 menit dan 15 menit dapat membunuh bakteri 100% sehingga tidak ada koloni yang tumbuh.

Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa penggunaan cahaya tampak mampu membunuh bakteri, akan tetapi kelemahannya adalah daya yang digunakan sangat besar. Dengan demikian diperlukan penelitian lebih lanjut mengenai penghambatan bakteri menggunakan cahaya tampak dengan intensitas sinar ultraviolet-C kecil dan penambahan variasi intensitas dan kelembaban dengan harapan dengan menggunakan parameter tersebut mampu mengurangi atau membunuh bakteri *Escherichia coli* pada kulit sepatu. Berdasarkan latar belakang di atas akan dilakukan penelitian tentang ”Pengaruh Cahaya Ultraviolet C (UV-C) dan Kelembaban Udara (RH) terhadap Jumlah Bakteri *Escherichia coli* Pada Kulit Sepatu”.

## 1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana pengaruh cahaya ultraviolet-C terhadap jumlah bakteri *Escherichia coli*?
2. Bagaimana pengaruh cahaya ultraviolet-C dan kelembaban udara terhadap jumlah bakteri *Escherichia coli*?

3. Bagaimana pengaruh waktu pemaparan cahaya ultraviolet-C dan kelembaban udara terhadap jumlah bakteri *Escherichia coli*?

### **1.3 Tujuan Penelitian**

1. Untuk mengetahui pengaruh cahaya ultraviolet-C terhadap jumlah bakteri *Escherichia coli*.
2. Untuk mengetahui pengaruh cahaya ultraviolet-C dan kelembaban udara terhadap jumlah bakteri *Escherichia coli*.
3. Untuk mengetahui pengaruh waktu pemaparan cahaya ultraviolet-C dan kelembaban udara terhadap jumlah bakteri *Escherichia coli*?

### **1.4 Manfaat Penelitian**

1. Dapat memberikan informasi tentang pengaruh cahaya ultraviolet-C dan kelembaban udara yang efektif untuk menonaktifkan dari bakteri *Escherichia coli*.
2. Dapat diaplikasikan dalam pembuatan rak sepatu yang dapat menonaktifkan bakteri penyebab bau kaki pada sepatu.

### **1.5 Batasan Masalah**

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah hanya membahas satu macam bakteri penyebab bau kaki yaitu *Escherichia coli* dengan paparan ultraviolet-C dan kelembaban udara.

## BAB II KAJIAN PUSTAKA

### 2.1 Cahaya Ultraviolet (UV)

Cahaya merupakan suatu gelombang elektromagnetik yang dalam kondisi tertentu dapat berkelakuan seperti suatu partikel. Gelombang elektromagnetik merupakan gelombang yang tidak memerlukan medium untuk merambat, sehingga cahaya dapat merambat tanpa memerlukan medium. Oleh karena itu, cahaya merambat dengan sangat cepat, yaitu dengan kecepatan  $3 \times 10^8$  m/s, artinya dalam satu sekon cahaya dapat menempuh jarak 300.000.000 m atau 300.000 km. (Murtono, 2008). Cahaya dapat melintas melalui medium hampa dan medium tidak hampa. Bila cahaya melintas melalui medium tidak hampa, kecepatannya lebih kecil daripada medium hampa. Kecepatan cahaya dalam medium hampa yaitu  $2,99792458 \times 10^8$  m/s (Sears dan Zemansky, 1982).

Teori tentang cahaya di atas telah Allah SWT firman dalam Q.S an-Nur (24): 40:

أَوْ كَظُلُمَاتٍ فِي بَحْرٍ لُّجِّيٍّ يَغْشَاهُ مَوْجٌ مِّنْ فَوْقِهِ مَوْجٌ مِّنْ فَوْقِهِ سَحَابٌ ظُلُمَاتٌ بَعْضُهَا  
فَوْقَ بَعْضٍ إِذَا أَخْرَجَ يَدُهُ لَمْ يَكَدْ يَرَاهَا وَمَنْ لَّمْ يَجْعَلِ اللَّهُ لَهُ نُورًا فَمَا لَهُ مِنْ نُّورٍ

﴿٤٠﴾

“atau (keadaan orang-orang kafir) seperti gelap gulita di lautan yang dalam, yang diliputi oleh gelombang demi gelombang, di atasnya ada (lagi) awan gelap. Itulah gelap gulita yang berlapis-lapis. Apabila dia mengeluarkan tangannya hampir tidak dapat melihatnya. Barang siapa tidak diberi cahaya (petunjuk) oleh Allah, maka dia tidak mempunyai cahaya sedikit pun” (Q.S an-Nur (24): 40).

Ayat di atas menjelaskan tentang cahaya (sinar) seperti dalam kata نُور yang artinya ‘cahaya’ atau sinar. Cahaya berasal dari matahari. Sinar yang

dipancarkan matahari pada hakikatnya terdiri atas gelombang-gelombang elektromagnetik, mulai dari sinar radio sampai sinar X. Namun paling mendominasi adalah sinar tampak dan masing-masing sinar infra merah dan sinar ultraviolet, disamping beberapa partikel awal cepat seperti elektronik. Sebagian besar sinar ultraviolet dipantulkan kembali keluar lapisan ozon (El-Naggar, 2010).

Usaha pertama untuk mengukur kecepatan cahaya dilakukan oleh Galileo. Tetapi usaha tersebut gagal karena ia tidak dapat mengukur selang waktu yang sangat kecil daripada waktu reaksi manusia yang digunakan cahaya untuk merambat pada jarak beberapa km, sehingga kecepatan cahaya yang didapat terlalu besar (Halliday, 1988). Setelah Galileo, banyak ilmuwan yang melakukan eksperimen untuk mengukur kecepatan cahaya. Ole Romer mencoba mengukur kecepatan cahaya dengan metode astronomi pada tahun 1676. Ole Romer mengukur kecepatan cahaya dengan mengukur dan menganalisa perputaran satelit planet Jupiter terhadap Bumi. Louis Fizeau mengukur kecepatan cahaya dengan metode rose gigi berputar pada tahun 1849. Pada eksperimen ini laju roda harus diatur sedemikian rupa sehingga cahaya yang dipantulkan dapat melewati celah dalam roda tersebut (Tipler, 2001). Foucoult melakukan pengukuran kecepatan cahaya dengan metode cermin berputar pada tahun 1862, dan Albert A Michelson mengukur kecepatan cahaya dengan metode prisma berputar pada tahun 1926 dan 1931 (Halliday, 1988).

James Clerk Maxwell membuat suatu teori keelektromagnetan dalam bentuk persamaan yang dikenal dengan persamaan-persamaan Maxwell. Melalui teorinya tersebut, Maxwell menunjukkan bahwa gelombang elektromagnet yang

merambat terdiri dari medan listrik dan medan magnet yang saling tegak lurus, dan keduanya tegak lurus arah rambatnya. Maxwell menghitung kecepatan gelombang elektromagnet, didapat bahwa gelombang elektromagnet yang merambat di ruang bebas mempunyai kecepatan yang sama dengan kecepatan cahaya. Berdasarkan perhitungan kecepatan gelombang elektromagnet tersebut, Maxwaell menarik kesimpulan bahwa cahaya merupakan salah satu bentuk gelombang elektromagnetik.

Gelombang adalah energi yang merambat dalam suatu medium. Pada gelombang merambat terjadi perpindahan energi dari suatu tempat ke tempat yang lain. Salah satu bentuk gelombang yaitu gelombang elektromagnet dimana perambatannya berupa energi elektromagnetik. Energi elektromagnetik tersebut terdiri dari medan listrik dan medan magnet yang berubah terhadap waktu.

Energi elektromagnteik dalam gelombang elektromagnetik yang merambat saling tegak lurus, dan keduanya tegak lurus terhadap arah rambatannya. Perubahan medan listrik terhadap waktu menimbulkan medan magnet, dan sebaliknya. Perubahan medan magnet terhadap waktu menimbulkan medan listrik (Sutrisno, 1979).

Maxwell menunjukkan fenomena medan listrik dan medan magnet ke dalam empat persamaan. Persamaan-persamaan tersebut merupakan dasar teori keelektromagnetan yang dikenal sebagai persamaan Maxwell. Persamaan-persamaan tersebut adalah (Kraus, 1984):

$$\nabla \times B = 0 \quad (2.1)$$

$$\nabla \times D = 0 \quad (2.2)$$

$$\nabla \times \mathbf{H} = -\frac{\partial \mathbf{D}}{\partial t} \quad (2.3)$$

$$\nabla \times \mathbf{E} = -\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} \quad (2.4)$$

$$\nabla \times \frac{\mathbf{B}}{\mu_0} = \epsilon_0 \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t} + \frac{\partial \mathbf{P}}{\partial t} + \mathbf{J}_{\text{free}} \quad (2.5)$$

Ultraviolet digunakan untuk penelitian genetika, keperluan medis, juga untuk sterilisasi karena dapat membunuh bakteri. Ultraviolet banyak ditemukan pada sinar matahari, tapi ultraviolet ini dipancarkan keluar oleh ozon di atmosfer (Snustad & Gardner, 1984). Radiasi ultraviolet tidak memiliki cukup energi untuk menginduksi ionisasi seperti sinar X. Namun ultraviolet mempunyai kemampuan sebagai mutagen dan pada dosis yang tinggi dapat membunuh sel (Lewis, 1997).

### 2.1.1 Intensitas Cahaya Ultraviolet

Intensitas gelombang elektromagnetik atau laju energi yang dipindahkan melalui gelombang elektromagnetik disebut vektor Poynting. Vektor Poynting dengan simbol besaran  $\mathbf{S}$  atau  $\mathbf{P}$ , didefinisikan sebagai produk vektor dari vektor intensitas medan listrik  $\mathbf{E}$  dengan vektor medan magnet  $\mathbf{H}$  pada suatu gelombang elektromagnetik.

Pengertian fisik dari vektor Poynting yaitu menggambarkan laju energi per satuan waktu per satuan luas penampang medium yang dilalui oleh gelombang, baik harga sesaat atau harga rata-rata. Nilai vektor Poynting yang besar berarti menggambarkan intensitas gelombang elektromagnetik yang besar juga. Perbedaan antara intensitas gelombang dengan vektor Poynting yaitu intensitas gelombang merupakan besaran skalar sedangkan vektor Poynting merupakan

besaran vektor yang menggambarkan arah perambatan gelombang dan besarnya kerapatan energi gelombang per satuan waktu atau laju energi gelombang dalam satuan Joule per sekon per meter persegi (J/s.m<sup>2</sup>). Teorema tentang vektor poynting dikembangkan oleh ilmuwan Inggris yang bernama John H. Poynting yang pada awalnya adalah postulat pada tahun 1884. Vektor intensitas medan magnetik dan intensitas medan listrik itu saling tegak lurus satu sama lainnya. Maka besarnya arah gelombang elektromagnetik yaitu (Effendi et al., 2007):

$$S = E \times \frac{B}{\mu_0} \quad (2.6)$$

Keterangan:

S = Laju energi persatuan luas (W/m<sup>2</sup>)

E = Medan Listrik (KV/m)

B = Kuat medan magnet (Weber/m<sup>2</sup>)

X = Permeabilitas ( $4\pi \times 10^{-7}$  Wb/Am)

Dimana:

$$E = \frac{1}{2} [E_0 e^{i(k.r-\omega t)} + E_0^* e^{-i(k.r-\omega t)}] \quad (2.7)$$

$$B = \frac{1}{2} \left[ \frac{k \times E_0}{\omega} e^{i(k.r-\omega t)} + \frac{k \times E_0^*}{\omega} e^{-i(k.r-\omega t)} \right] \quad (2.8)$$

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 sumber (m)

$\omega$  = Frekuensi sudut (rad/s)

Dengan substitusi persamaan 2.6, 2.7 dan 2.8, diperoleh rata-rata vektor Poynting persatuan waktu adalah (Peatros dan Michael, 2008):

$$\langle S \rangle_t = \hat{u} \frac{n\epsilon_0 c}{2} (|E_{0x}|^2 + |E_{0y}|^2 + |E_{0z}|^2) e^{-2\frac{k\omega}{c}\hat{u}.r} \quad (2.9)$$

$\langle S \rangle_t$  dapat juga disebut radiasi yang terpapar pada bidang tertentu, atau biasanya disebut dengan intensitas yang bergerak pada arah  $\hat{u}$ . Pada gelombang elektromagnetik  $-2(k\omega/c)\hat{u} \cdot r \cong 0$  maka secara umum, intensitas dapat dituliskan (Peatros dan Michael, 2008):

$$I = \frac{n\epsilon_0 c}{2} \mathbf{E}_0 \cdot \mathbf{E}_0^* = \frac{n\epsilon_0 c}{2} (|E_{0x}|^2 + |E_{0y}|^2 + |E_{0z}|^2) \quad (2.10)$$

Keterangan:

$I$  = intensitas cahaya ( $\text{W}/\text{cm}^2$ )

$n$  = Indeks bias

$\epsilon_0$  = Permeabilitas ( $\text{F}/\text{m}$ )

$c$  = Cepat rambat cahaya ( $3 \times 10^8 \text{ m/s}$ )

### 2.1.2 Interaksi Cahaya Ultraviolet terhadap Kematian Bakteri

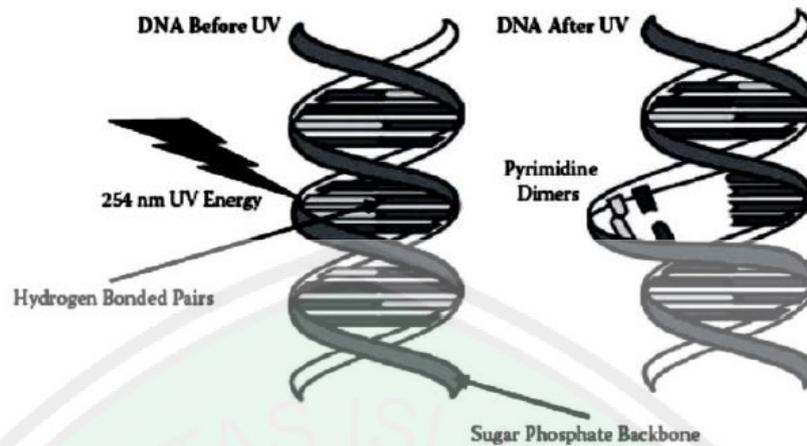
Mekanisme inaktivasi mikroorganisme oleh sinar UV dengan cara merusak asam nukleat sehingga mencegah replikasi mikroorganisme. Inti sel dikomposisi oleh rantai ganda DNA, yang diperlukan untuk sintesis ribosomal, transfer dan *massenger* RNA, yang bertanggungjawab pada proses sintesis dalam sel. DNA 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

phospat dan basa nitrogen. Mekanisme inaktivasi UV terhadap DNA dan RNA menghasilkan dimmer pirimidin (Hariono, 2012).

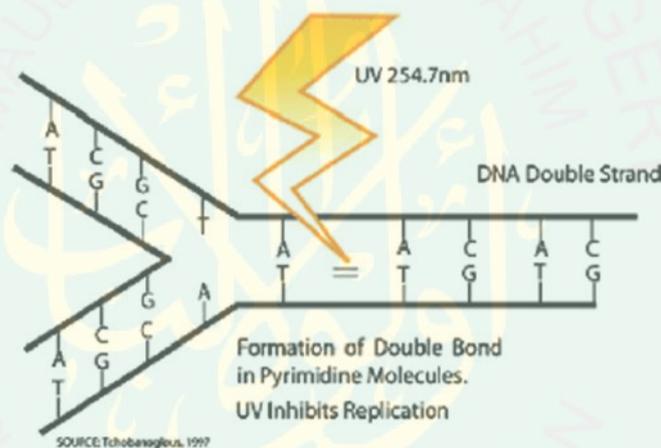
Interaksi ultraviolet dengan materi genetik tergantung pada panjang gelombang. Penyerapan energi radiasi pada materi genetik melalui reaksi fotokimia. Pengaruh biologi dari radiasi ultraviolet tergantung panjang gelombang. Radiasi ini dapat menyebabkan kerusakan biologi yang dapat diperbaiki jika panjang gelombang rendah. Walaupun demikian, jika kerusakan yang ditimbulkan besar maka dapat terjadi mutasi permanen. Jika kerusakan terjadi pada gen regulator, kemungkinan menyebabkan karsinogenesis (Mertens & Hammersmith, 1995).

Cahaya tampak dan sinar UV mempunyai pengaruh yang sangat kuat terhadap kelangsungan dan keefektifan transformasi DNA dari suatu spesies (Moat dan Foster, 1988). Sinar UV yang berlebihan justru akan mengganggu aktivitas DNA suatu spesies. Untuk dapat bertahan pada kondisi lingkungan yang tidak sesuai, suatu spesies dapat melakukan perubahan materi genetik atau melakukan proses mutasi sehingga fenotif yang muncul tidak lagi sama persis dengan fenotif semula (Tamarin, 1995).

Sinar UV sangat berpengaruh terhadap perkembangan sel. Sel merupakan satuan hidup terkecil yang dapat menderita akibat radiasi. Tanggapan sel atau jaringan terhadap radiasi berbeda-beda, baik yang menyangkut perubahan derajat ketahanan hidup, mutasi ataupun karsinogen (Soedjono, 2003).



Gambar 2.1 Struktur DNA yang pecah karena terpapar sinar UV (Koutchma et al., 2009)



Gambar 2.2 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 dimmer pirimidin, yaitu dengan membentuk ikatan antara pasangan timin atau sitosin-pirimidin yang berdekatan pada untai DNA atau RNA yang sama. Dimmer 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; Miller *et al.*, 1999). 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 nukleoprotein 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).

Sinar *UV* dapat menyebabkan terbentuknya ikatan kovalen antara dua molekul timin, menghasilkan timin dimer. Timin dimer ini menyebabkan kerusakan serius dan kematian sel karena DNA dengan timin dimer tidak dapat direplikasi dan ditranskripsi. Komponen sinar *UV* yang bersifat paling mutagenik adalah pada panjang gelombang 260 nm. Paparan sinar *UV* pada manusia dapat menyebabkan terbentuknya banyak timin dimer pada sel kulit dan menimbulkan kanker kulit. Bakteri dan organisme lain memiliki mekanisme perbaikan (*repair*) terhadap kerusakan yang diakibatkan oleh radiasi sinar *UV*. Ada dua macam mekanisme perbaikan, yaitu perbaikan dengan cahaya (*light repair*) dan perbaikan tanpa cahaya (*dark repair*). Pada perbaikan dengan cahaya (*light repair*), bakteri memiliki enzim fotoliase yang menggunakan energi cahaya *visible* untuk memisahkan ikatan dimer timin. Manusia dengan penyakit *xeroderma pigmentosum* sangat sensitif terhadap paparan sinar matahari dan tidak memiliki

mekanisme perbaikan terhadap efek mutagenik radiasi sinar UV, sehingga sangat berisiko mengidap kanker kulit (Effendy, 1997).

## **2.2 Kelembaban Udara**

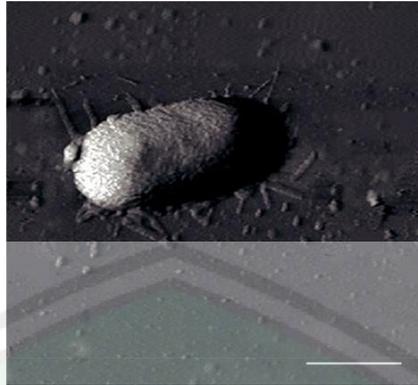
### **2.2.1 Definisi Kelembaban Udara**

Kelembaban sangat penting untuk pertumbuhan mikroorganisme. Pada umumnya mikroorganisme berjenis bakteri membutuhkan kelembaban yang tinggi. Udara yang sangat kering dapat memusnahkan bakteri. Tetapi kadar kelembaban minimum yang dapat diperlukan untuk mendukung pertumbuhan bakteri bukanlah merupakan nilai pasti. Kandungan air atau kelembaban yang terjadi dan tersedia, bukan total kelembaban yang ada, juga bisa mempengaruhi perbanyakan bakteri (Saksono, 1986).

### **2.2.2 Pengaruh Kelembaban Udara terhadap Pertumbuhan Bakteri**

Kelembaban relatif (RH) merupakan suatu pertimbangan penting dalam UV-inaktivasi bakteri, namun sedikit informasi tentang hal inaktivasi yang mempertimbangkan RH sebagai variabel sensitif.

Bakteri *Eschericia coli* merupakan bakteri gram-negatif yang digunakan sebagai model organisme untuk menyelidiki efek kelembaban relatif pada morfologi sel. Berikut gambar morfologi bakteri *Eschericia coli* setelah diberi perlakuan kelembaban 93%.



Gambar 2.3 Permukaan Sel Bakteri *Escherichia coli* pada Kelembaban 93% (Nikiyan, 2010)

Penurunan RH dari 93% hingga 65% menyebabkan perubahan kekasaran permukaan bakteri. Permukaan kasar sel gram-negatif bakteri *Escherichia coli* ditunjukkan pada gambar 2.3. Kelembaban yang semakin menurun akan mengarah pada naiknya tingkat kekasaran permukaan sel bakteri. Perubahan kekasaran yang signifikan terjadi pada kelembaban 65%. Penurunan kelembaban menyebabkan bakteri mengalami proses dehidrasi sehingga permukaan sel bakteri menjadi kasar, seperti ditunjukkan oleh gambar 2.3.

Penurunan kelembaban mengakibatkan perubahan yang signifikan pada morfologi bakteri, yaitu pada peningkatan kekasaran permukaan dan kekakuan dinding sel. Tetapi tidak berpengaruh signifikan pada ukuran bakteri, yang meliputi panjang, lebar, tinggi maupun volumenya. Kekasaran bakteri selama pengurangan kelembaban mengalami perubahan yang signifikan pada kelembaban 65%. Perubahan tersebut dapat diamati dari bentuk dinding sel bakteri *Escherichia coli* yang menjadi lebih lentur dan daya tahan bakteri tersebut menjadi rendah. Bakteri *Escherichia coli* lebih sensitif terhadap perubahan kelembaban, perubahan kekasaran sudah terdeteksi pada pengurangan RH dari 93%. Pada kelembaban

transisi dari 93% ke 84% dinding sel bakteri *Eschericia coli* kehilangan sifat mekanik.

Bakteri gram-negatif memiliki dinding sel relatif tipis (Lemer, 2003) dan Bakteri *Eschericia coli* lebih sensitif terhadap pengeringan, meningkat secara signifikan kekasaran dan parameter kekakuan pada  $RH \leq 84\%$  RH. Hal ini mengungkapkan bahwa bakteri *Eschericia coli* lebih rendah resistensi terhadap perubahan RH. Oleh karena itu, pada kelembaban 84% bakteri *Eschericia coli* sel sudah kehilangan kekuatan mekanik dan secara signifikan meningkatkan kekasaran permukaan (Nikiyan, 2010).

### 2.3 Bakteri *Escherichia coli*

Bakteri adalah organisme bersel satu yang mempunyai kekhasan khusus dalam kondisi komposisi sel dibandingkan dengan sel makhluk lain pada umumnya. Organisme ini tidak memiliki selaput inti, tidak memiliki plastida khusus yaitu zat warna pada membran, tidak memiliki organel berselaput, mitokondria, lisosom, badan golgi, dan *rectum endoplasma (RE)*, nucleus, dan nukleoplasma (Wildan Yatim dan Aryani, 1987).

Bakteri terdapat secara luas di lingkungan alam yang berhubungan dengan hewan, tumbuh-tumbuhan, udara, air dan tanah. Kata bakteri berasal dari bahasa latin *bacterium* (jamak, bacteria) adalah kelompok terbanyak dari organisme hidup. Bakteri adalah mikroorganisme bersel tunggal tidak terlihat oleh mata, berukuran antara 0,5-10  $\mu\text{m}$  dan lebar 0,5-2,5  $\mu\text{m}$  tergantung pada jenisnya. Terdapat beribu jenis bakteri, tetapi hanya beberapa bakteri yang ditemukan diantaranya bulat, batang (Bueche, dkk, 1987).

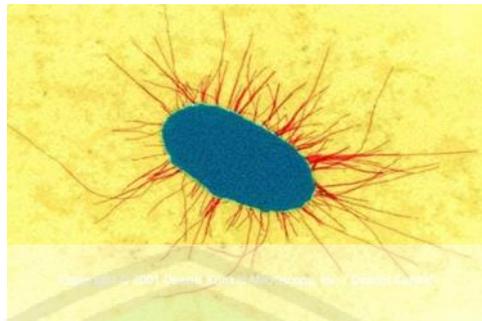
Allah SWT berfirman dalam (Q.S al-Baqarah (2): 26).

إِنَّ اللَّهَ لَا يَسْتَحْيِي أَنْ يَضْرِبَ مَثَلًا مَّا بَعُوضَةً فَمَا فَوْقَهَا فَأَمَّا الَّذِينَ آمَنُوا فَيَعْلَمُونَ أَنَّهُ  
الْحَقُّ مِنْ رَبِّهِمْ وَأَمَّا الَّذِينَ كَفَرُوا فَيَقُولُونَ مَاذَا أَرَادَ اللَّهُ بِهَذَا مَثَلًا يُضِلُّ بِهِ كَثِيرًا وَيَهْدِي  
بِهِ كَثِيرًا وَمَا يُضِلُّ بِهِ إِلَّا الْفَاسِقِينَ ﴿٢٦﴾

“*Sesungguhnya Allah tiada segan membuat perumpamaan berupa nyamuk atau yang lebih rendah dari itu [33]. Adapun orang-orang yang beriman, maka mereka yakin bahwa perumpamaan itu benar dari Tuhan mereka, tetapi mereka yang kafir mengatakan : "Apakah maksud Allah menjadikan ini untuk perumpamaan?." Dengan perumpamaan itu banyak orang yang disesatkan Allah [34], dan dengan perumpamaan itu (pula) banyak orang yang diberi-Nya petunjuk. Dan tidak ada yang disesatkan Allah kecuali orang-orang yang fasik” (Q.S Al-Baqarah:26).*

Menurut asy-Syaukuni (2008) mengatakan bahwa lafadz *famaa fauqohaa* (atau yang lebih rendah dari itu) pada ayat di atas maksudnya yaitu apa yang lebih kecil dari nyamuk dari segi mana dan fisik, mengingat nyamuk adalah makhluk kecil dan tidak berarti. Adapun hewan yang melebihi nyamuk atau yang lebih kecil dibandingkan nyamuk antara lain adalah bakteri. Umumnya ukuran bakteri sangat kecil, bentuk tubuh bakteri baru dapat dilihat dengan menggunakan mikroskop dengan pembesaran 1.000 X atau lebih (Waluyo, 2008).

*Escherichia coli* merupakan bakteri gram negatif berbentuk batang pendek yang memiliki panjang sekitar 2  $\mu\text{m}$ , diameter 0,7  $\mu\text{m}$ , lebar 0,4-0,7  $\mu\text{m}$  dan bersifat anaerob fakultatif. *E. coli* membentuk koloni yang bundar, cembung, dan halus dengan tepi yang nyata (Smith-Keary, 1988 ; Jawetz et al., 1995). *Escherichia coli* dapat dilihat pada gambar 2.4.



Gambar 2.4 *Escherichia coli* (Smith-Keary,1988)

*Escherichia coli* pertama kali diidentifikasi di dalam flora usus dari bayi oleh seorang dokter anak dari German yang bernama *Theodor Escherich* (1885) yang kemudian menamai bakteri ini *Bacterium coli commune*. Nama *Escherichia coli* diberikan pada tahun 1920 sebagai penghargaan terhadap *Theodor Escherich* (Berg, 2004).

### 2.3.1 Taxonomi *Escherichia coli*

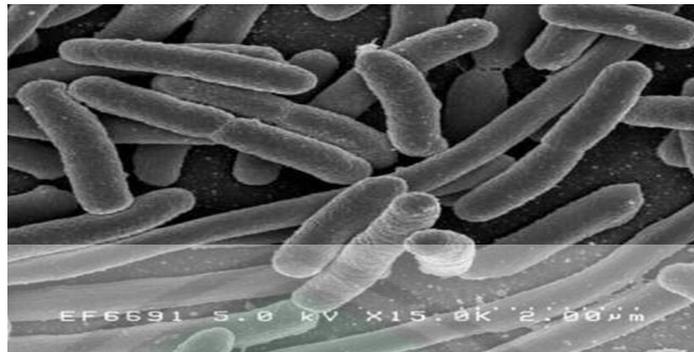
Klasifikasi bakteri *Escherichia coli* ( Lerner et al. (2003); Morder (2008);

NEW (2010)

Domain	: <i>Bacteria</i>
Kingdom	: <i>Monera</i>
Divisi	: <i>Eubacteria</i>
Kelas	: <i>Proteobacteria</i>
Ordo	: <i>Enterobacteriales</i>
Famili	: <i>Enterobacteriaceae</i>
Genus	: <i>Escherichia</i>
Spesies	: <i>Escherichia coli</i>

### 2.3.2 Morfologi Bakteri *Escherichia coli*

*Escherichia coli* merupakan bakteri *anaerobik fakultatif* (Campbell et al., 2002) berbentuk batang dan berukuran sangat kecil dengan panjang sekitar 2,2  $\mu\text{m}$  dan diameter 0,8  $\mu\text{m}$ . Bakteri ini tidak memiliki *nukleus*, organel terbungkus membran maupun *sitoskeleton*. Meskipun demikian, *Escherichia coli* memiliki organel eksternal yakni *vili* yang merupakan filamen tipis untuk menangkap substrat spesifik dan *flagela* yang merupakan filamen tipis dan lebih panjang untuk berenang (Berg, 2004). Lapisan selubung sel yang terdapat di antara membran sitoplasma dan kapsul disebut dinding sel. Dinding sel pada bakteri gram negatif terdiri dari *peptidoglikan* dan membran luar. Dinding sel berperan penting sebagai proteksi terhadap tekanan osmotik internal yang mencapai 5-20 atm dan juga berperan dalam pembelahan sel. Pada umumnya dinding sel bersifat *permeabel non selektif* (Brooks et al., 2007). Namun, membran luar *ekstrasitoplasmik* bakteri gram negatif (Fauzi et al., 2008) dapat menghambat perpindahan molekul-molekul yang berukuran besar (Brooks et al., 2007). Membran luar ini merupakan suatu *lipid bilayer* dengan protein, *lipoprotein* dan polisakarida. Membran luar bakteri gram negatif berhubungan dengan lingkungan termasuk pada pejamu manusia. Variasi pada membran luar inilah yang menyebabkan terdapatnya perbedaan sifat patogenitas dan resistensi antimikroba (Fauzi et al., 2008).



Gambar 2.5 Morfologi *Escherichia coli* dilihat dengan *scanning electron mikroskop* (Fauzi et al., 2008).



## **BAB III METODE PENELITIAN**

### **3.1 Jenis Penelitian**

Penelitian ini merupakan jenis penelitian eksperimental, karena data yang diperlukan bersifat data yang diambil langsung dari objek penelitian untuk memperoleh data pengamatan tentang pengaruh cahaya ultraviolet C (UV C) dan kelembaban udara terhadap jumlah bakteri *Escherichia coli* pada biofilm.

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

Penelitian ini dimulai pada Bulan Mei s/d Oktober 2017 di Laboratorium 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**

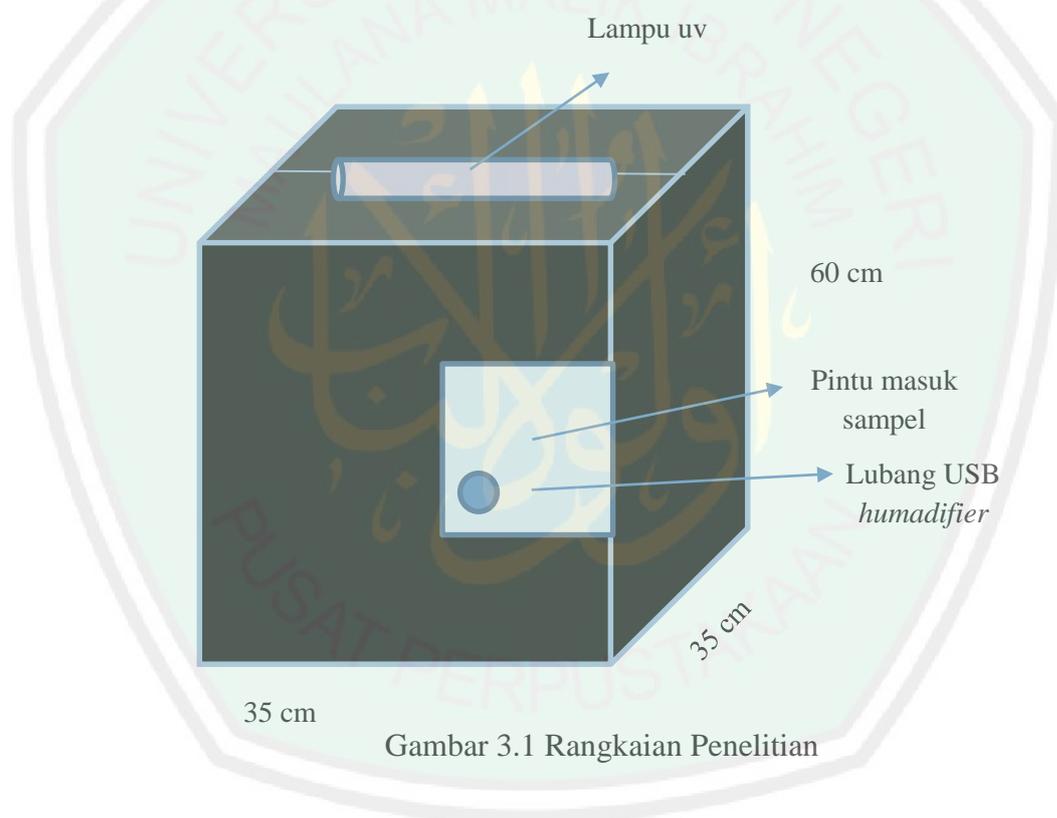
#### **3.3.1 Alat-alat yang digunakan**

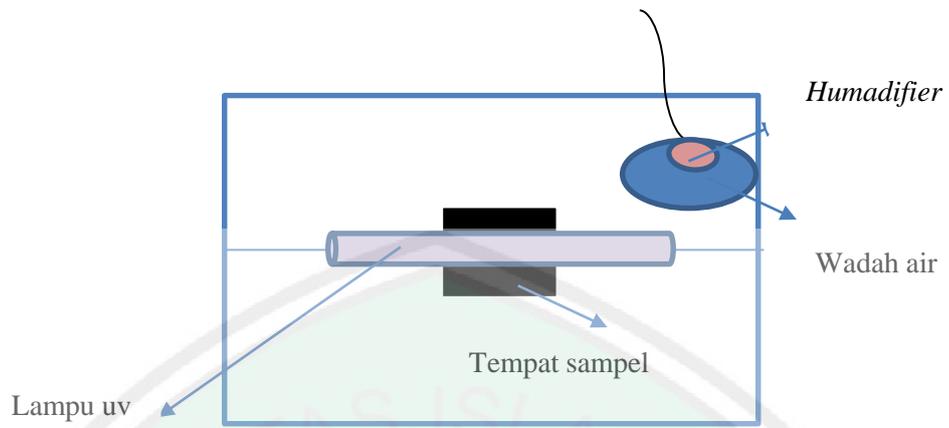
Lampu UV C (4 watt) 1 buah, *humidifier* 1 buah, luxmeter 1 buah, *power supply* 1 buah, autoklaf 1 buah, timbangan analitik 1 buah, gelas air loji 1 buah, spatula 1 buah, *stirrer* 1 buah, botol semprot 1 buah, gelas ukur (50) mL 2 buah, gelas ukur (100) mL 2 buah, erlenmeyer (250 mL) 4 buah, tabung 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 1 buah, *hoteplate* 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

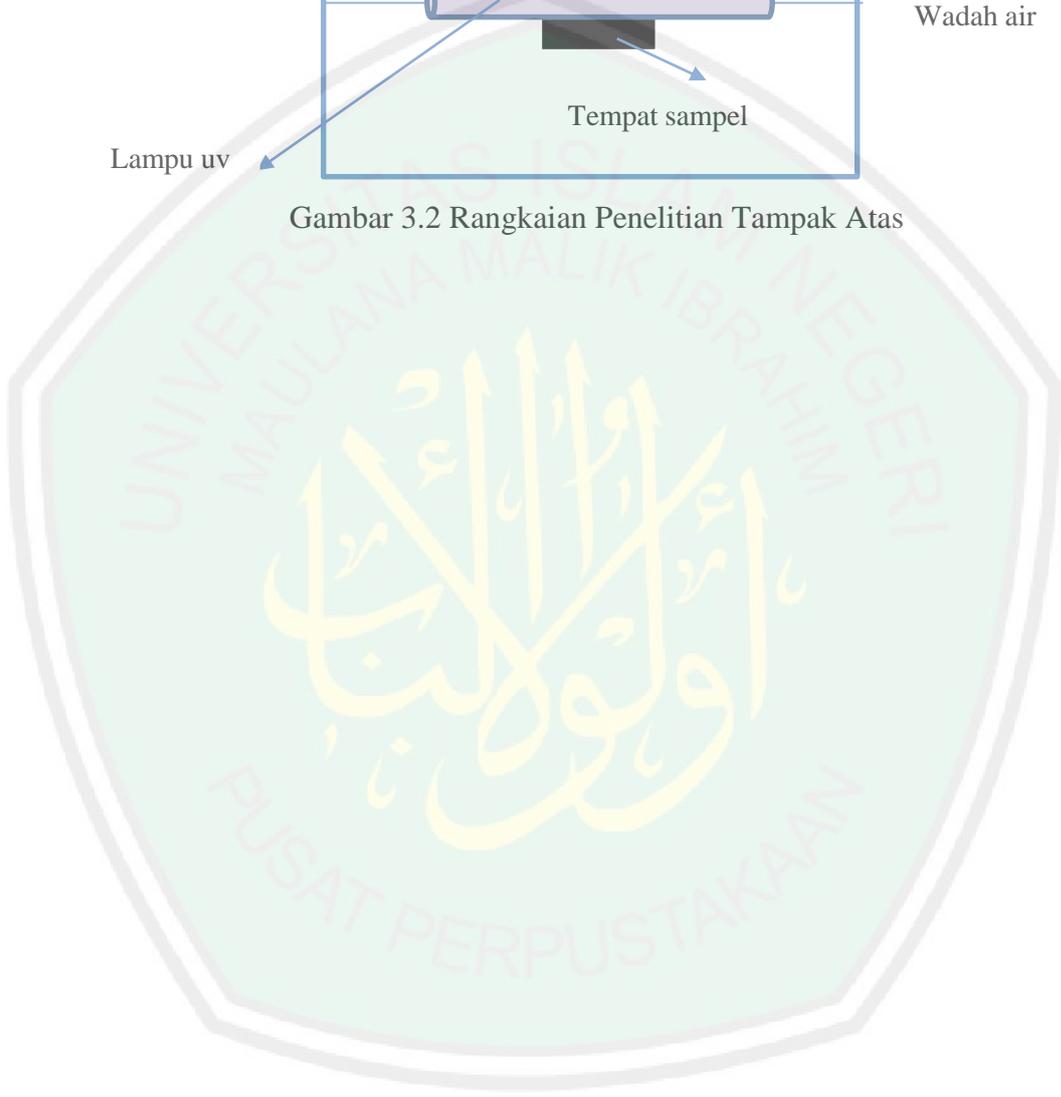
Bakteri *Escherichia coli*, media NA (*Nutrien Agar*), media NB (*Nutrien Broth*), media PCA (*Plate Count Agar*), lempeng sepatu sebagai substrak pembentuk biofilm, aquades, alkohol 70 %, kapas 1 *pack*, tisu 1 *pack*, plastik *wrap* 1 buah, plastik ukuran 2 kg, karet gelang, spirtus, NaCl 0,9%, deterjen,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

### 3.4 Desain Rangkaian Alat Penelitian

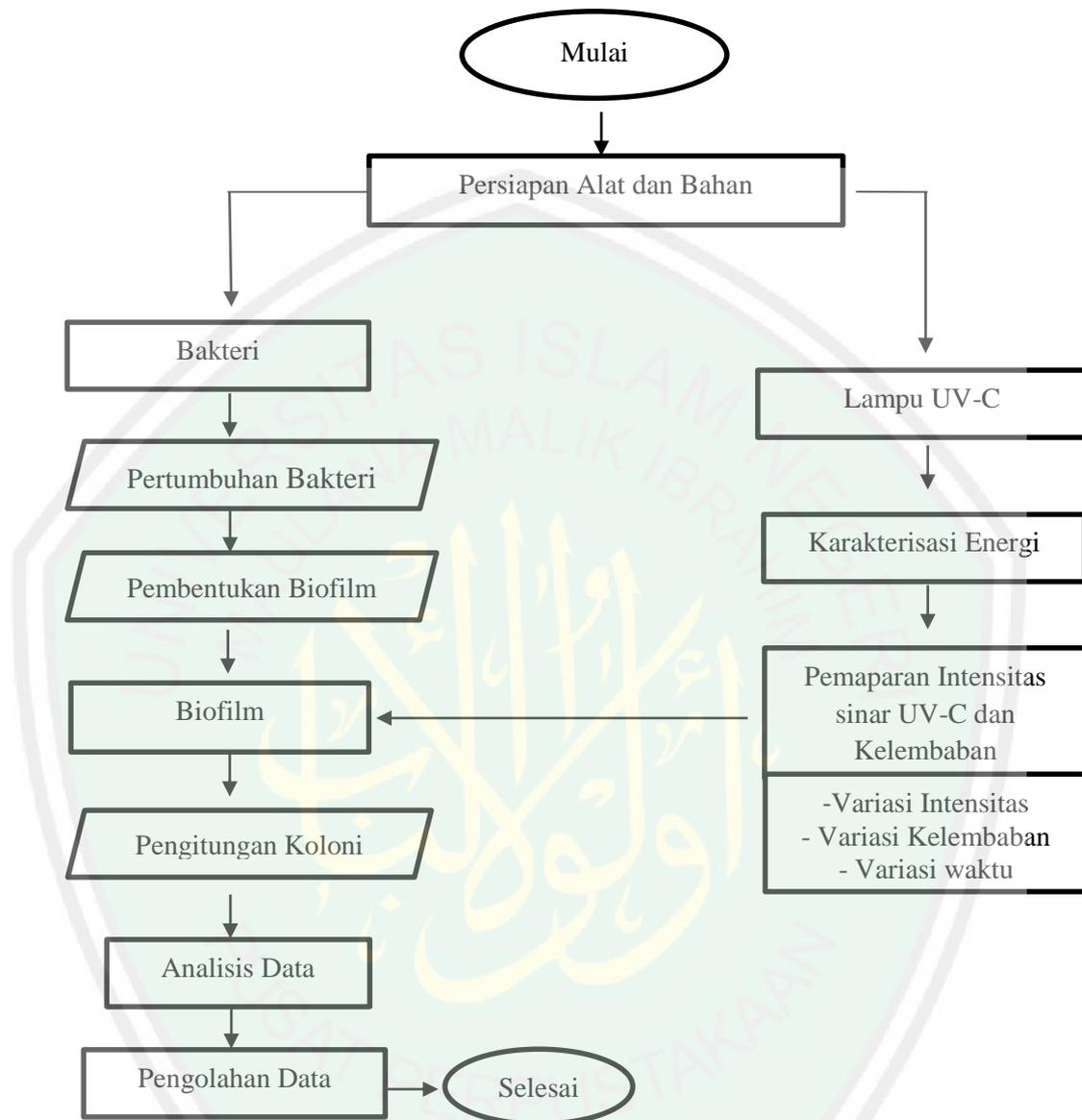




Gambar 3.2 Rangkaian Penelitian Tampak Atas



### 3.5 Rancangan Penelitian



Gambar 3.3 Diagram Alir 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 50 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 dengan 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 waktu 20 menit, 30 menit, 40 menit, 50 menit, 60 menit dan variasi kelembaban udara 81-90 %, 71-80 % dan 60-70 %. Setelah itu 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 PCA, diinkubasi selama 24 jam kemudian dilakukan penghitungan, 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 secara manual dan digunakan spidol untuk menandai bakteri yang telah dihitung supaya tidak terjadi pengulangan penghitungan. Hasil data yang diperoleh diolah dengan analisis Deskriptif.

### **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 kimia berupa alkohol 70 %.

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

1. Media NA ditimbang sebanyak 1 gram.
2. Ditambahkan aquades sebanyak 50 mL 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 2,5 gram.
2. Ditambahkan aquades sebanyak 150 mL dalam *erlenmeyer* kemudian dipanaskan di atas *hot plate* sampai homogen. Selanjutnya disterilisasi di dalam autoklaf pada suhu 121 °C selama 15 menit.
3. Media NB yang akan digunakan, dituang ke dalam botol berukuran 100 mL sebanyak 20 mL kemudian ditutup dengan kapas dan aluminium foil.

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

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

### 3.6.5 Pembuatan Biakan Bakteri *Escherichia coli*

1. Bakteri secara aseptik diinokulasi dengan jarum ose pada permukaan medium miring.
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 sinar ultraviolet C dan kelembaban.

### 3.6.7 Paparan Cahaya Ultraviolet C dan Kelembaban Udara

1. Bakteri Kontrol
  - a. Cawan petri yang berisi sampel biofilm tanpa dipapari cahaya ultraviolet C dan kelembaban udara diberi label “kontrol”.
  - b. Dihitung jumlah koloni secara manual.
2. Sampel yang Dipapari Cahaya Ultraviolet C dan kelembaban udara

- a. Bakteri yang telah membentuk biofilm diberi paparan cahaya UV C sebesar 100 mW/cm<sup>2</sup>, 180 mW/cm<sup>2</sup>, dan 260 mW/cm<sup>2</sup> dengan waktu 20 menit, 30 menit, 40 menit, 50 menit, 60 menit dan variasi kelembaban udara 81-90 %, 71-80 % dan 60-70 %.
- 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 kemudian divorteks selama 1 menit untuk melepas sel biofilm.
- d. Pengenceran dilakukan dengan mengambil sebanyak 0,1 mL kultur kemudian disebar pada media NA, lalu diinkubasi selama 24 jam pada suhu 37 °C.
- e. Diulang kembali langkah di atas, dengan masing-masing intensitas UV C, kelembaban udara dan waktu, dilakukan tiga kali pengulangan.

#### 3.6.8 Dilusi (Pengenceran)

1. Disiapkan sampel, cawan petri dan botol flakon 15 mL, *blue tip*, yang sudah disterilkan.
2. Disiapkan kapas, bunsen, korek api, tisu, mikro pipet, dan media NA.
3. Suspensi sampel dalam tabung reaksi dihomogenkan dengan *vortex mixer*.
4. Diambil 1 mL suspensi dari tabung reaksi yang sudah dipapari cahaya ultraviolet C dan kelembaban kemudian dimasukkan ke dalam botol flakon steril yang berisi 9 mL aquades dan diberi tanda sebagai pengenceran 10<sup>-1</sup>.

5. 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  $10^{-2}$ .
6. Diambil 1 mL dari suspensi  $10^{-2}$  yang sudah dihomogenkan kemudian dimasukkan ke dalam botol flakon steril yang berisi 9 mL aquades sebagai pengenceran  $10^{-3}$ .
7. Dilakukan pengenceran sampai pengenceran  $10^{-9}$ .
8. Dituangkan suspensi pada pengenceran  $10^{-9}$  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.
9. Dilakukan semua proses di atas secara aseptis, yaitu di dekat api bunsen.
10. 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 secara manual.
2. Koloni yang sudah dihitung diberi tanda dengan untuk menghindari kesalahan.

#### **3.7 Teknik Pengumpulan Data**

Data yang telah diperoleh, berupa hasil penghitungan bakteri *Escherichia coli* setelah diberi paparan cahaya UV-C dan kelembaban udara, kemudian diolah dan dicatat pada tabel 3.1.

Tabel 3.1. Data Rata-Rata Jumlah Koloni Bakteri *Escherichia coli* Setelah Dipapari Cahaya UV-C selama 60 menit

I (mW/cm <sup>2</sup> )	Jumlah Bakteri <i>Escherichia coli</i> (CFU/mL)			Kontrol (CFU/mL)
	20 menit	40 menit	60 menit	
100				
180				
260				

Tabel 3.2 Data Rata-Rata Jumlah Koloni Bakteri *Escherichia coli* Setelah Dipapari Cahaya UV-C dan Kelembaban (RH) selama 60 menit

I (mW/cm <sup>2</sup> )	Jumlah Bakteri <i>Escherichia coli</i> (CFU/mL)			Kontrol (CFU/mL)
	81-90 %	71-80 %	60-70 %	
100				
180				
260				

Tabel 3.3 Data Rata-Rata Jumlah Koloni Bakteri *Escherichia coli* Setelah Dipapari Cahaya UV-C dan Kelembaban (RH) 60-70 % dengan Variasi Waktu Pemaparan

T (menit)	Jumlah Bakteri <i>Escherichia coli</i> (CFU/mL)			Kontrol (CFU/mL)
	100 mW/cm <sup>2</sup>	180 mW/cm <sup>2</sup>	260 mW/cm <sup>2</sup>	
20				
30				
40				
50				
60				

### 3.8 Teknik Analisis Data

Data yang diperoleh kemudian dibandingkan antara bakteri yang tidak dipapari cahaya ultraviolet-C (pada kontrol) dan kelembaban udara dengan bakteri yang sudah dipapari cahaya ultraviolet-C dan kelembaban udara, selanjutnya dianalisis dengan analisis deskriptif dan analisis RAK (Rancangan Acak

Kelompok) faktorial untuk mengetahui pengaruh cahaya ultraviolet-C terhadap jumlah bakteri *Escherichia coli*.



## BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Hasil Penelitian

Penelitian tentang pengaruh cahaya ultraviolet-C dan kelembaban udara terhadap jumlah bakteri *Escherichia coli* pada kulit sepatu memiliki beberapa tahapan. Tahapan pertama yaitu pembuatan biofilm yang berasal dari bakteri *Escherichia coli*. Pembuatan biofilm dilakukan dengan memasukkan lempeng sepatu steril berukuran 1 cm<sup>2</sup> ke dalam 50 ml media NB yang sudah ditumbuhi bakteri *Escherichia coli*, kemudian media tersebut diinkubasi pada suhu 37 °C selama 6 hari.

Tahap kedua yaitu pemaparan. Biofilm yang terbentuk pada lempeng sepatu kemudian dipapari cahaya UV-C dengan intensitas 100 mW/cm<sup>2</sup>, 180 mW/cm<sup>2</sup>, 260 mW/cm<sup>2</sup>, dan kelembaban udara 81-90 %, 71-80 %, 60-70 % selama 20 menit, 30 menit, 40 menit, 50 menit, dan 60 menit. Pada saat dilakukan pemaparan, kelembaban udara diatur terlebih dahulu dengan menggunakan *humidifier*. Lempeng sepatu yang sudah dipapari cahaya UV-C dan kelembaban udara selanjutnya dimasukkan ke dalam 10 ml NaCl 0,9 % dan divorteks selama 1 menit untuk melepas sel biofilm dari lempeng sepatu.

Tahap ketiga yaitu penghitungan jumlah bakteri *Escherichia coli*. Pada tahapan ini dilakukan setelah proses pengenceran. Pengenceran dilakukan sampai pada pengenceran ketujuh di ruang *Laminar Air Flow* (LAF) kemudian diambil 1 ml suspensi dengan menggunakan mikropipet. Suspensi tersebut dimasukkan ke dalam

cawan petri yang sudah diberi media PCA cair. Media PCA berfungsi sebagai media hidup sel. Cawan petri yang berisi bakteri diinkubasi selama 24 jam dengan suhu 37 °C. Selanjutnya bakteri dihitung secara manual dan digunakan spidol untuk menandai bakteri yang sudah dihitung agar tidak terjadi pengulangan.

Jumlah koloni bakteri *Escherichia coli* dapat diketahui dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\sum \text{sel/mL} = \sum \text{koloni} \times \frac{1}{10^{-n}} \text{ cfu/mL}$$

Sementara untuk mengetahui persentase penurunan jumlah bakteri *Escherichia coli* dapat diketahui dengan menggunakan persamaan dibawah ini:

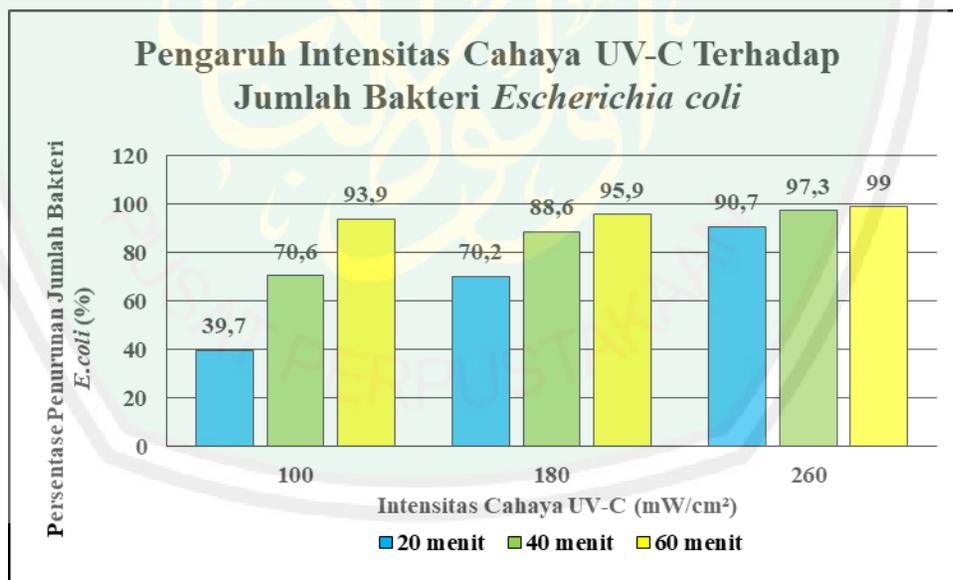
$$\text{Persentase penurunan bakteri} = \frac{N_0 - N}{N_0} \times 100\%$$

#### 4.1.1 Pengaruh Intensitas Cahaya Ultraviolet-C Terhadap Jumlah Bakteri *Escherichia coli*

Tabel 4.1 Rata-Rata dan Penurunan Jumlah Koloni Bakteri *Escherichia coli* Setelah Dipapari Cahaya UV-C

Waktu (menit)	I= 100 mW/cm <sup>2</sup>		I= 180 mW/cm <sup>2</sup>		I= 260 mW/cm <sup>2</sup>		Kontrol (x 10 <sup>7</sup> CFU/mL)
	Rata-rata (x 10 <sup>7</sup> CFU/mL)	Penu-runan (%)	Rata-rata (x 10 <sup>7</sup> CFU/mL)	Penu-runan (%)	Rata-rata (x 10 <sup>7</sup> CFU/mL)	Penu-runan (%)	
20	133,0	39,7	65,7	70,6	20,5	93,9	220,8
40	64,8	70,2	25,1	88,6	5,8	95,9	
60	13,3	90,7	9,0	97,3	2,2	99,0	

Paparan cahaya ultraviolet-C diketahui dapat menurunkan jumlah bakteri *Escherichia coli*. Hal ini dapat dilihat pada tabel 4.1. Jumlah rata-rata bakteri *Escherichia coli* sebelum diberi paparan cahaya ultraviolet-C sebanyak  $220,8 \times 10^7$  CFU/mL dan setelah diberi paparan cahaya ultraviolet-C dengan intensitas 100 mW/cm<sup>2</sup> selama 60 menit, jumlah bakteri yang masih aktif sebanyak  $13,3 \times 10^7$  CFU/mL dengan persentase penurunan mencapai 93,9 %. Ketika intensitas cahaya ultraviolet-C ditingkatkan menjadi 260 mW/cm<sup>2</sup> jumlah bakteri yang masih aktif semakin berkurang menjadi  $2,2 \times 10^7$  CFU/mL dengan persentasenya menjadi 99 %. Hal ini menunjukkan bahwa semakin besar intensitas cahaya ultraviolet-C, maka jumlah bakteri yang aktif semakin berkurang.



Gambar 4.1 Diagram Persentase Penurunan Jumlah Bakteri *Escherichia coli* dengan Variasi Intensitas Cahaya Ultraviolet-C

Gambar 4.1 menunjukkan bahwa paparan cahaya ultraviolet-C dengan intensitas cahaya yang semakin besar dapat menghambat pertumbuhan jumlah bakteri *Escherichia coli*, seperti yang digambarkan di atas, rata-rata jumlah koloni bakteri *Escherichia coli* yang masih aktif pada intensitas cahaya 100 mW/cm<sup>2</sup> selama 20 menit sebesar 133,0x10<sup>7</sup> CFU/mL dengan persentase penurunan jumlah bakteri 39,7 %, pada intensitas cahaya 180 mW/cm<sup>2</sup> jumlah bakteri *Escherichia coli* yang aktif berkurang menjadi 65,7x10<sup>7</sup> CFU/mL dengan persentase penurunan jumlah bakteri 70,2 % dan semakin berkurang menjadi 20,5x10<sup>7</sup> CFU/mL dengan persentase penurunan jumlah bakteri 90,7 % ketika intensitas cahaya ultraviolet-C ditingkatkan menjadi 260 mW/cm<sup>2</sup>.

Intensitas cahaya 100 mW/cm<sup>2</sup> selama 40 menit jumlah bakteri *Escherichia coli* yang aktif sebesar 64,8x10<sup>7</sup> CFU/mL dengan persentase penurunan jumlah bakteri 70,6 %, pada intensitas cahaya 180 mW/cm<sup>2</sup> jumlah bakteri *Escherichia coli* yang aktif berkurang menjadi 25,1x10<sup>7</sup> CFU/mL dengan persentase penurunan jumlah bakteri 88,6 % dan semakin berkurang menjadi 5,8x10<sup>7</sup> CFU/mL dengan persentase penurunan jumlah bakteri 97,3 % ketika intensitas cahaya ultraviolet-C ditingkatkan menjadi 260 mW/cm<sup>2</sup>.

Intensitas cahaya 100 mW/cm<sup>2</sup> selama 60 menit jumlah bakteri *Escherichia coli* yang aktif sebesar 13,3x10<sup>7</sup> CFU/mL dengan persentase penurunan jumlah bakteri 93,9 %, pada intensitas cahaya 180 mW/cm<sup>2</sup> jumlah bakteri *Escherichia coli* yang aktif berkurang menjadi 9,0x10<sup>7</sup> CFU/mL dengan persentase penurunan jumlah bakteri 95,9 % dan semakin berkurang menjadi 2,2x10<sup>7</sup> CFU/mL dengan persentase

penurunan jumlah bakteri 99 % ketika intensitas cahaya ultraviolet-C ditingkatkan menjadi 260 mW/cm<sup>2</sup>.

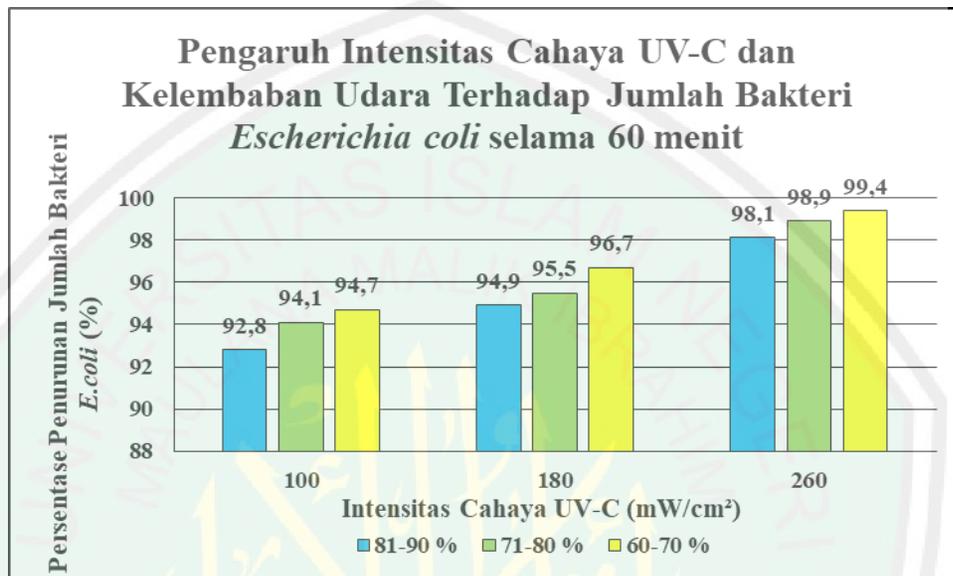
#### 4.1.2 Pengaruh Intensitas Cahaya Ultraviolet-C dan Kelembaban Udara Terhadap Jumlah Bakteri *Escherichia coli*

Tabel 4.2 Rata-Rata dan Penurunan Jumlah Koloni Bakteri *Escherichia coli* Setelah Dipapari Cahaya UV-C dan Kelembaban (RH) selama 60 menit

RH (%)	I= 100 mW/cm <sup>2</sup>		I= 180 mW/cm <sup>2</sup>		I= 260 mW/cm <sup>2</sup>		Kontrol (x 10 <sup>7</sup> CFU/mL)
	Rata-rata (x 10 <sup>7</sup> CFU/mL)	Penurunan (%)	Rata-rata (x 10 <sup>7</sup> CFU/mL)	Penurunan (%)	Rata-rata (x 10 <sup>7</sup> CFU/mL)	Penurunan (%)	
81-90	15,7	92,8	11,2	94,9	4,1	98,1	220,8
71-80	12,9	94,1	9,9	95,5	2,4	98,9	
60-70	11,5	94,7	7,1	96,7	1,3	99,4	

Tabel 4.2. menunjukkan bahwa kombinasi intensitas cahaya ultraviolet-C dan kelembaban udara mempengaruhi jumlah bakteri *Escherichia coli*. Berdasarkan tabel tersebut diketahui bahwa cahaya ultraviolet-C dan kelembaban udara dapat menurunkan jumlah koloni bakteri *Escherichia coli*. Jumlah rata-rata bakteri sebelum diberi paparan cahaya ultraviolet-C dan kelembaban udara sebanyak 220,8x10<sup>2</sup> CFU/mL dan setelah diberi paparan cahaya ultraviolet-C dan kelembaban udara dengan intensitas cahaya 180 mW/cm<sup>2</sup> pada kelembaban udara 81-90 %, jumlah bakteri yang aktif berkurang menjadi 11,2x10<sup>2</sup> CFU/mL dengan persentase penurunannya mencapai 94,9 %. Ketika intensitas cahaya ditingkatkan menjadi 260 mW/cm<sup>2</sup> dan kelembaban yang rendah mejadi 60-70 % jumlah bakteri yang aktif berkurang menjadi 1,3x10<sup>2</sup> CFU/mL dengan persentase penurunannya mencapai 99,4

%. Nilai intensitas yang semakin tinggi dan kelembaban udara yang rendah dapat mereduksi jumlah bakteri *Escherichia coli* dalam jumlah yang banyak.



Gambar 4.2 Diagram Persentase Penurunan Jumlah Bakteri *Escherichia coli* dengan Variasi Intensitas Cahaya Ultraviolet-C dan Kelembaban Udara

Jumlah bakteri *Escherichia coli* yang telah dipapari intensitas cahaya ultraviolet-C dan kelembaban udara disajikan pada gambar 4.2. Berdasarkan gambar tersebut intensitas cahaya ultraviolet-C dan kelembaban udara mempengaruhi jumlah bakteri *Escherichia coli*. Pada intensitas 100 mW/cm<sup>2</sup> dan kelembaban udara 81-90 % jumlah bakteri *Escherichia coli* yang aktif sebanyak  $15,7 \times 10^7$  CFU/mL dengan persentase penurunan bakteri 92,8 %, kelembaban udara 71-80 % jumlah bakteri *Escherichia coli* yang aktif sebanyak  $12,9 \times 10^7$  CFU/mL dengan persentase penurunan bakteri 94,1 % dan dengan kelembaban udara 60-70 % jumlah bakteri

*Escheherichia coli* yang aktif sebanyak  $11,5 \times 10^7$  CFU/mL dengan persentase penurunan bakteri 94,7 %

Intensitas  $180 \text{ mW/cm}^2$  dengan kelembaban udara 81-90 % jumlah bakteri *Escheherichia coli* yang aktif sebanyak  $11,2 \times 10^7$  CFU/mL dengan persentase penurunan bakteri 94,9 %, kelembaban udara 71-80 % jumlah bakteri *Escheherichia coli* yang aktif sebanyak  $9,9 \times 10^7$  CFU/mL dengan persentase penurunan bakteri 95,5 %, dan kelembaban udara 60-70 % jumlah bakteri *Escheherichia coli* yang aktif sebanyak  $7,1 \times 10^7$  CFU/mL dengan persentase penurunan bakteri 96,7 %.

Intensitas  $260 \text{ mW/cm}^2$  dan kelembaban udara 81-90 % jumlah bakteri *Escheherichia coli* yang aktif sebanyak  $4,1 \times 10^7$  CFU/mL dengan persentase penurunan bakteri 98,1 %, pada kelembaban udara 71-80 % jumlah bakteri *Escheherichia coli* yang aktif sebanyak  $2,4 \times 10^7$  CFU/mL dengan persentase penurunan bakteri 98,9 %, dan dengan kelembaban udara 60-70 % jumlah bakteri *Escheherichia coli* yang aktif sebanyak  $1,3 \times 10^7$  CFU/mL dengan persentase penurunan bakteri 99,4 %. Berdasarkan penjelasan tersebut, semakin besar intensitas cahaya ultraviolet-C dan semakin rendah nilai kelembaban udara maka jumlah bakteri *Escheherichia coli* yang aktif semakin berkurang.

#### **4.1.3 Pengaruh Waktu Pemaparan Intensitas Cahaya Ultraviolet-C dan Kelembaban Udara Terhadap Jumlah Bakteri *Escherichia coli***

Waktu pemaparan cahaya ultraviolet-C dan kelembaban udara juga dapat mempengaruhi jumlah bakteri *Escherichia coli*. Hal ini dapat dilihat pada tabel 4.3. Semakin lama waktu pemaparan intensitas cahaya ultraviolet-C dan kelembaban

udara maka jumlah bakteri *Escherichia coli* yang aktif semakin berkurang. Berdasarkan data penelitian pada tabel 4.3 menunjukkan bahwa terjadi penurunan jumlah bakteri *Escherichia coli* setiap perlakuan. Setelah dipapari intensitas cahaya ultraviolet-C dan kelembaban udara selama 20 menit, 30 menit, 40 menit, 50 menit dan 60 menit. Penurunan jumlah bakteri *Escherichia coli* paling banyak terdapat pada waktu 60 menit dengan persentase penurunan mencapai 99,4 %.

Tabel 4.3 Rata-Rata dan Penurunan Jumlah Koloni Bakteri *Escherichia coli* Setelah Dipapari Cahaya UV-C dan Kelembaban Udara 60-70 % dengan Variasi Waktu Pemaparan

Waktu (menit)	I= 100 mW/cm <sup>2</sup>		I= 180 mW/cm <sup>2</sup>		I= 260 mW/cm <sup>2</sup>		Kontrol (x 10 <sup>7</sup> CFU/mL)
	Rata-rata (x 10 <sup>7</sup> CFU/mL)	Penu-runan (%)	Rata-rata (x 10 <sup>7</sup> CFU/mL)	Penu-runan (%)	Rata-rata (x 10 <sup>7</sup> CFU/mL)	Penu-runan (%)	
20	96,0	56,5	32,6	85,2	16,4	92,5	220,8
30	69,7	68,4	15,4	93,0	8,1	96,3	
40	41,8	81,0	11,9	94,6	4,9	97,7	
50	25,4	88,4	8,8	96,0	3,0	98,6	
60	11,5	94,7	7,1	96,7	1,3	99,4	

Selanjutnya, data persentase penurunan jumlah koloni bakteri *Escherichia coli* setelah diberi paparan cahaya ultraviolet-C dengan intensitas cahaya 100 mW/cm<sup>2</sup>, 180 mW/cm<sup>2</sup>, 260 mW/cm<sup>2</sup> dan kelembaban udara 60-70 % dengan variasi waktu pemaparan yaitu 20 menit, 30 menit, 40 menit, 50 menit dan 60 menit yang terdapat pada tabel 4.3 dan disajikan dalam bentuk grafik pada gambar 4.3.

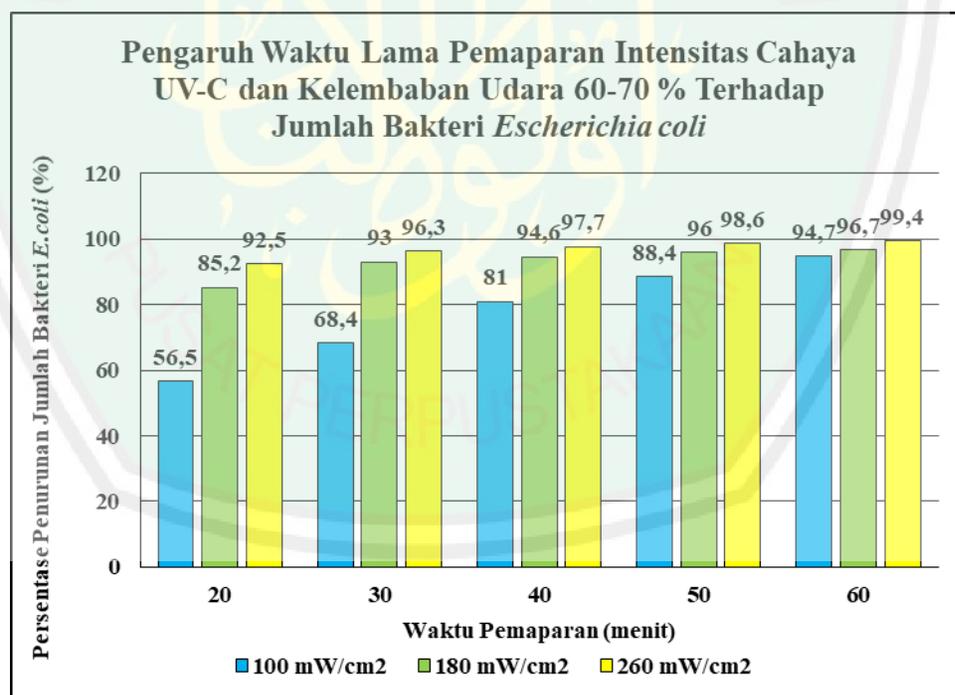
Waktu pemaparan intensitas cahaya ultraviolet-C 100 mW/cm<sup>2</sup> selama 20 menit jumlah bakteri *Escherichia coli* yang aktif sebanyak 96,0x10<sup>7</sup> CFU/mL dengan

persentase penurunannya mencapai 56,5 %, waktu pemaparan 30 menit jumlah bakteri *Escherichia coli* yang aktif sebanyak  $69,7 \times 10^7$  CFU/mL dengan persentase penurunannya mencapai 68,4 %, waktu pemaparan 40 menit jumlah bakteri *Escherichia coli* yang aktif sebanyak  $41,8 \times 10^7$  CFU/mL dengan persentase penurunannya mencapai 81 %, waktu pemaparan 50 menit jumlah bakteri *Escherichia coli* yang aktif sebanyak  $25,4 \times 10^7$  CFU/mL dengan persentase penurunannya mencapai 88,4 % dan pada waktu pemaparan 60 menit jumlah bakteri *Escherichia coli* yang aktif sebanyak  $11,5 \times 10^7$  CFU/mL dengan persentase penurunannya mencapai 94,7 %.

Waktu pemaparan intensitas cahaya ultraviolet-C  $180 \text{ mW/cm}^2$  selama 20 menit jumlah bakteri *Escherichia coli* yang aktif sebanyak  $32,6 \times 10^7$  CFU/mL dengan persentase penurunannya mencapai 85,2 %, waktu pemaparan 30 menit jumlah bakteri *Escherichia coli* yang aktif sebanyak  $15,4 \times 10^7$  CFU/mL dengan persentase penurunannya mencapai 93 %, waktu pemaparan 40 menit jumlah bakteri *Escherichia coli* yang aktif sebanyak  $11,9 \times 10^7$  CFU/mL dengan persentase penurunannya mencapai 94,6 %, waktu pemaparan 50 menit jumlah bakteri *Escherichia coli* yang aktif sebanyak  $8,8 \times 10^7$  CFU/mL dengan persentase penurunannya mencapai 96 %, dan pada waktu pemaparan 60 menit jumlah bakteri *Escherichia coli* yang aktif sebanyak  $7,1 \times 10^7$  CFU/mL dengan persentase penurunannya mencapai 96,7 %.

Waktu pemaparan intensitas cahaya ultraviolet-C  $260 \text{ mW/cm}^2$  dan kelembaban udara selama 20 menit jumlah bakteri *Escherichia coli* yang aktif

sebanyak  $16,4 \times 10^7$  CFU/mL dengan persentase penurunannya mencapai 92,5 %, waktu pemaparan 30 menit jumlah bakteri *Escherichia coli* yang aktif sebanyak  $8,1 \times 10^7$  CFU/mL dengan persentase penurunannya mencapai 96,3 %, waktu pemaparan 40 menit jumlah bakteri *Escherichia coli* yang aktif sebanyak  $4,9 \times 10^7$  CFU/mL dengan persentase penurunannya mencapai 97,7 %, waktu pemaparan 50 menit jumlah bakteri *Escherichia coli* yang aktif sebanyak  $3,0 \times 10^7$  CFU/mL dengan persentase penurunannya mencapai 98,6 % dan pada waktu pemaparan 60 menit jumlah bakteri *Escherichia coli* yang aktif sebanyak  $1,3 \times 10^7$  CFU/mL dengan persentase penurunannya mencapai 99,4 %.



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

## **4.2 Pembahasan**

### **4.2.1 Pengaruh Intensitas Cahaya Ultraviolet-C Terhadap Jumlah Bakteri *Escherichia coli***

Sinar UV akan mengganggu struktur DNA dan RNA yang mendorong terjadinya kerusakan yang diawali dengan pembentukan dimmer pirimidin. Pembentukan dimmer pirimidin yaitu dengan membentuk ikatan antara pasangan timin atau sitosisn-pirimidin yang berdekatan pada untai DNA atau RNA yang sama. Dimmer tersebut mencegah mikroorganisme bereplikasi sehingga tidak aktif. Sedangkan dimmer timin menyebabkan gangguan DNA mencegah transkripsi dan replikasi DNA. Kondisi ini dapat merangsang sistem perbaikan yang hasilnya cenderung salah dalam mereplikasi sel melalui DNA yang rusak, akhirnya mengakibatkan mutasi sel. Penyerapan sinar UV menyebabkan terjadinya modifikasi kimiawi nukleon protein dan menimbulkan salah baca kode genetika yang mengakibatkan mutasi yang akan merusak atau memperlemah fungsi vital organisme.

Adapun mekanisme kerusakan sel yang menjadi target utama karena kombinasi intensitas cahaya UV-C dan kelembaban dalam penelitian ini yaitu membran dalam dan membran luar sel bakteri, kandungan protein serta enzim, dan asam nukleat yang terdiri atas DNA dan RNA. Kemudian kerusakan tersebut menyebabkan keluarnya material isi sel dan akhirnya sel mengalami kematian.

### **4.2.2 Pengaruh Intensitas Cahaya Ultraviolet-C dan Kelembaban Udara Terhadap Jumlah Bakteri *Escherichia coli***

Bakteri *Escherichia coli* saat menerima sinar ultraviolet maka elektron-elektron pada molekul bakteri akan mengabsorpsi energi yang dipancarkan oleh sinar,

sehingga elektron-elektron pada kondisi stabil akan mengalami peningkatan, kemudian menyebabkan elektron tereksitasi. Apabila keadaan tersebut terus berlangsung dengan energi cahaya atau foton yang tinggi, maka dapat mengakibatkan sel menjadi rusak. Karena dengan foton yang tinggi, sel-sel tersebut akan mengalami reaksi fotokimia. Proses fotokimia terjadi ketika molekul yang tereksitasi secara optis bereaksi secara langsung dengan substrat yaitu membran sel atau molekul, dan mentransfer sebuah proton atau elektron membentuk anion atau kation radikal yang akan bereaksi dengan oksigen dan menghasilkan oksigenreaktif (ROS). Superoksida yang terbentuk kemudian bereaksi dengan substrat menghasilkan hidrogen peroksida ( $H_2O_2$ ). Pada konsentrasi yang tinggi hidrogen peroksida anion membentuk hidroksil radikal (reaksi Haber-Weiss) yang dengan mudah berdifusi melalui membran dan merusak sel.

Rusaknya sel bakteri oleh sinar UV berawal dari asam nukleat yang dicegah fungsi replikasi mikroorganismenya. Asam nukleat adalah untai ganda dengan nukleotida rantai satu yang komplementer dengan lainnya. Asam nukleat ini terdiri atas dua bentuk, yaitu DNA dan RNA. Nukleotida DNA terdiri atas pirimidin, purin, adenine dan guanidine, timin dan sitosin. Sedangkan nukleotida RNA terdiri atas purin, adenine, guanin dan pirimidin, urasil dan sitosin. Asam nukleat akan mengabsorpsi sinar UV pada panjang gelombang tertentu, khususnya dengan panjang gelombang 253.7 nm.

Sinar UV akan mengganggu struktur DNA dan RNA yang mendorong terjadinya kerusakan yang diawali dengan pembentukan dimmer pirimidin.

Pembentukan dimmer pirimidin yaitu dengan membentuk ikatan antara pasangan timin atau sitosisn-pirimidin yang berdekatan pada untai DNA atau RNA yang sama. Dimmer tersebut mencegah mikroorganisme bereplikasi sehingga tidak aktif. Sedangkan dimmer timin menyebabkan gangguan DNA mencegah transkripsi dan replikasi DNA. Kondisi ini dapat merangsang sistem perbaikan yang hasilnya cenderung salah dalam mereplikasi sel melalui DNA yang rusak, akhirnya mengakibatkan mutasi sel. Penyerapan sinar UV menyebabkan terjadinya modifikasi kimiawi nukleon protein dan menimbulkan salah baca kode genetika mengakibatkan mutasi yang akan merusak atau memperlemah fungsi vital organisme.

Adapun mekanisme kerusakan sel yang menjadi target utama karena kombinasi intensitas cahaya UV-C dan kelembaban dalam penelitian ini yaitu membran dalam dan membran luar sel bakteri, kandungan protein serta enzim, dan asam nukleat yang terdiri atas DNA dan RNA. Kemudian kerusakan tersebut menyebabkan keluarnya material isi sel dan akhirnya sel mengalami kematian.

Penurunan RH dari 90 % hingga 60 % menyebabkan perubahan kekasaran permukaan bakteri. Permukaan kasar sel gram-negatif bakteri *Escherichia coli* ditunjukkan pada gambar 2.3. Kelembaban yang semakin menurun akan mengarah pada naiknya tingkat kekasaran permukaan sel bakteri. Perubahan kekasaran yang signifikan terjadi pada kelembaban 65 %. Penurunan kelembaban menyebabkan bakteri mengalami proses dehidrasi sehingga permukaan sel bakteri menjadi kasar.

Penurunan kelembaban mengakibatkan perubahan yang signifikan pada morfologi bakteri, yaitu pada peningkatan kekasaran permukaan dan kekakuan

dinding sel. Tetapi tidak berpengaruh signifikan pada ukuran bakteri, yang meliputi panjang, lebar, tinggi maupun volumenya. Kekasaran bakteri selama pengurangan kelembaban mengalami perubahan yang signifikan pada kelembaban 65 %. Perubahan tersebut dapat diamati dari bentuk dinding sel bakteri *Escherichia coli* yang menjadi lebih lentur dan daya tahan bakteri tersebut menjadi rendah. Bakteri *Escherichia coli* lebih sensitif terhadap perubahan kelembaban, perubahan kekasaran sudah terdeteksi pada pengurangan RH dari 93 %.

Pada kelembaban transisi dari 93 % ke 84 % dinding sel bakteri *Escherichia coli* kehilangan sifat mekanik. Bakteri gram-negatif memiliki dinding sel relatif tipis dan bakteri *Escherichia coli* lebih sensitif terhadap pengeringan, meningkat secara signifikan kekasaran dan parameter kekakuan pada  $RH \leq 84 \% RH$ . Hal ini mengungkapkan bahwa bakteri *Escherichia coli* lebih rendah resistensi terhadap perubahan RH, oleh karena itu, pada kelembaban 84 % bakteri *Escherichia coli* sel sudah kehilangan kekuatan mekanik dan secara signifikan meningkatkan kekasaran permukaan.

#### **4.2.3 Pengaruh Waktu Pemaparan Intensitas Cahaya Ultraviolet-C dan Kelembaban Udara Terhadap Jumlah Bakteri *Escherichia coli***

Penggunaan sinar ultraviolet secara berlebihan dan tidak dikontrol dapat menghilangkan keefektifan dari sinar ultraviolet itu sendiri. Dosis yang tepat bagi sinar ultraviolet banyak menemui kesulitan karena berbagai variabel yang dapat mempengaruhi, diantaranya: aliran udara, kelembaban, jarak antara sumber cahaya dengan bahan yang disterilkan dan lamanya waktu sterilisasi.

Semakin lama waktu pemaparan intensitas cahaya ultraviolet-C dan kelembaban udara semakin berkurang jumlah bakteri *Escherichia coli*. Berdasarkan data penelitian pada tabel 4.3 menunjukkan bahwa terjadi penurunan jumlah bakteri *Escherichia coli* setiap perlakuan. Setelah dipapari intensitas cahaya ultraviolet-C dan kelembaban udara selama 20 menit, 30 menit, 40 menit, dan 50 menit bahwa terjadi penurunan jumlah bakteri terbesar terdapat setelah dipapari selama 60 menit. Hasil uji penelitian ini sesuai dengan teori yang dikemukakan Soetarto (2008) bahwa penurunan jumlah bakteri disebabkan karena sinar ultraviolet dapat menyebabkan kerusakan pada senyawa yang dihasilkan oleh bakteri, sehingga dapat menyebabkan pertumbuhan bakteri kurang baik. Penurunan jumlah bakteri semakin besar apabila waktu sterilisasi sinar ultraviolet yang dilakukan semakin lama karena sinar ultraviolet diketahui merupakan salah satu sinar dengan daya radiasi yang dapat bersifat letal bagi organisme.

#### **4.3 Kebersihan Dalam Tinjauan Islam**

Allah SWT telah menciptakan segala sesuatu dengan berbagai macam jenis dan bentuknya. Mulai dari makhluk hidup makroskopis dan mikroskopis, Makroskopis adalah organisme yang dapat dilihat dengan mata secara langsung, misalnya tumbuhan tingkat tinggi, hewan, dan manusia. Organisme mikroskopis adalah organisme yang tidak dapat dilihat dengan mata secara langsung untuk melihat organisme mikroskopis diperlukan alat bantu, misalnya lup, mikroskop cahaya, dan

mikroskop elektron. Contoh organisme mikroskopis, yaitu bakteri. Firman Allah SWT dalam Q.S. al-Baqarah (2): 26

إِنَّ اللَّهَ لَا يَسْتَحْيِي أَنْ يَضْرِبَ مَثَلًا مَّا بَعُوضَةً فَمَا فَوْقَهَا فَأَمَّا الَّذِينَ آمَنُوا فَيَعْلَمُونَ أَنَّهُ الْحَقُّ مِنْ رَبِّهِمْ وَأَمَّا الَّذِينَ كَفَرُوا فَيَقُولُونَ مَاذَا أَرَادَ اللَّهُ بِهَذَا مَثَلًا يُضِلُّ بِهِ كَثِيرًا وَيَهْدِي بِهِ كَثِيرًا وَمَا يُضِلُّ بِهِ إِلَّا الْفَاسِقِينَ ﴿٢٦﴾

*“Sesungguhnya Allah tiada segan membuat perumpamaan berupa nyamuk atau yang lebih rendah dari itu. Adapun orang-orang yang beriman, maka mereka yakin bahwa perumpamaan itu benar dari Tuhan mereka. Dan adapun mereka yang kafir mengatakan : "Apakah maksud Allah menjadikan ini untuk perumpamaan?." dengan perumpamaan itu banyak orang yang disesatkan Allah, dan dengan perumpamaan itu (pula) banyak orang yang diberi-Nya petunjuk. Dan tidak ada yang disesatkan Allah kecuali orang-orang yang fasik.” (Q.S.al-Baqarah (2): 26).*

Ibnu Katsir menafsirkan bahwa kata *فَمَا فَوْقَهَا* menunjukkan bahwa Allah SWT maha kuasa untuk menciptakan apa saja, yaitu penciptaan apapun dengan obyek apa saja, baik yang besar maupun yang lebih kecil. Allah SWT tidak pernah menganggap remeh sesuatu pun yang Dia ciptakan meskipun hal itu kecil. Orang-orang yang beriman meyakini bahwa dalam perumpamaan penciptaan yang dilakukan oleh Allah SWT memiliki manfaat bagi kehidupan manusia (Al-Mubarak, 2006). Sebagaimana Allah SWT menciptakan bakteri meskipun memiliki ukuran yang sangat kecil tetapi keberadaannya memiliki manfaat bagi kehidupan manusia, hewan, dan tumbuhan. Artinya segala sesuatu yang diciptakan Allah SWT, sebenarnya mengandung makna tersendiri dan semuanya tidak ada yang sia-sia, Allah SWT berfirman dalam (Q.S. Ali-Imran (3): 191).

إِنَّ فِي خَلْقِ السَّمُوتِ وَالْأَرْضِ وَاخْتِلَافِ اللَّيْلِ وَالنَّهَارِ لَآيَاتٍ لِّأُولِي الْأَلْبَابِ ﴿١٩٥﴾ الَّذِينَ يَذْكُرُونَ اللَّهَ قِيَمًا وَقُعُودًا وَعَلَىٰ جُنُوبِهِمْ وَيَتَفَكَّرُونَ فِي خَلْقِ السَّمُوتِ وَالْأَرْضِ رَبَّنَا مَا خَلَقْتَ هَذَا بَطْلًا سُبْحَانَكَ فَقِنَا عَذَابَ النَّارِ ﴿١٩٦﴾

*“Sesungguhnya, dalam penciptaan langit dan bumi, dan pergantian malam dan siang, terdapat tanda-tanda (kebesaran Allah) bagi orang yang berakal, ”(yaitu) orang-orang yang mengingat Allah sambil berdiri atau duduk atau dalam keadaan berbaring dan mereka memikirkan tentang penciptaan langit dan bumi (seraya berkata): “Ya Tuhan kami, tiadalah Engkau menciptakan ini dengan sia-sia, Maha Suci Engkau, maka peliharalah kami dari siksa neraka.” Q.S. Ali-Imran (3): 191.*

Ayat di atas, Allah SWT menjelaskan bahwa tidak ada penciptaanNya yang sia-sia. Seperti halnya Allah SWT menciptakan bakteri yang ukurannya mikroskopis. Setiap bakteri ada yang merugikan dan ada yang menguntungkan misalnya pada bakteri *Escherichia coli* yang menguntungkan bagi manusia karena bakteri ini berfungsi sebagai pengurai sisa-sisa makanan yang tidak terserap dalam sistem pencernaan manusia, tepatnya di usus besar, kemudian menutup permukaan usus besar agar bakteri patogen tidak ada tempat lagi untuk berada di usus, sehingga terus menuju ke luar melalui kotoran. Bakteri *Escherichia coli* juga bisa menghasilkan bahan antibiotik, seperti Kolisin yang bisa membunuh bakteri patogen lain. Di sisi lain, keberadaan bakteri *Escherichia coli* juga dapat merugikan manusia. Berdasarkan sebuah penelitian yang telah dilakukan oleh Messina dkk (2015) bakteri *Escherichia coli* diketahui merupakan salah satu bakteri penyebab bau kaki. Agar terhindar dari permasalahan tersebut langkah utama yang dapat dilakukan ialah dengan menjaga

kebersihan, dimulai dengan menjaga kebersihan pada kaki, kaos kaki, dan sepatu.

Sebagaimana firman Allah SWT dalam Q.S al-Mudatsir (74): 4-5.

وَتِيَابِكَ فَطَهِّرْ ﴿٤﴾ وَالرُّجْزَ فَاهْجُرْ ﴿٥﴾

“dan bersihkanlah pakaianmu, dan tinggalkanlah segala (perbuatan) yang keji” (Q.S al-Mudatsir (74): 4-5).

Dan juga dalam hadist Rasulullah SAW

قَالَ رَسُولُ اللَّهِ صَلَّى اللَّهُ عَلَيْهِ وَسَلَّمَ الطُّهُورُ شَطْرُ الْإِيمَانِ وَالْحَمْدُ لِلَّهِ تَمْلَأُ الْمِيزَانَ وَسُبْحَانَ اللَّهِ وَالْحَمْدُ لِلَّهِ تَمْلَأَانِ أَوْ تَمْلَأُ مَا بَيْنَ السَّمَاوَاتِ وَالْأَرْضِ وَالصَّلَاةُ نُورٌ وَالصَّدَقَةُ بُرْهَانٌ وَالصَّبْرُ ضِيَاءٌ وَالْقُرْآنُ حُجَّةٌ لَكَ أَوْ عَلَيْكَ كُلُّ النَّاسِ يَغْدُو فَبَايِعَ نَفْسَهُ فَمُعْتِقُهَا أَوْ مُؤَبِّقُهَا (رواه مسلم: ٣٢٨)

“Rasulullah saw. Bersabda, “Bersuci itu sebagian dari iman, membaca alhamdulillah adalah memenuhi timbangan amal, membaca subhanallah wal hamdulillah adalah memenuhi seisi langit dan bumi, salat sunah adalah cahaya, sedekah adalah petunjuk, sabar adalah sinar yang memancar, dan Al-Qur'an adalah hujjah (argumen) dalam pembicaraanmu. Setiap manusia pada waktu pagi hari, hakekatnya harus memperjual belikan dirinya. Ada kalanya ia laba (selamat dari maksiat) dan ada kalanya rugi (terseret maksiat.” (H.R. Muslim: 328).

Indikasi dari surat al-Mudatsir dan hadist Rasulullah SAW di atas menerangkan bahwa Allah SWT dan rasul-Nya mengajak manusia untuk selalu menjaga kebersihan (sterilisasi). Indikasi tersebut berdasarkan pada kata الطُّهُور dan طَهَّرَ yang bermakna bersih. Menjaga kebersihan berarti menghilangkan semua hal-hal yang kotor baik itu yang lahir maupun yang batin, termasuk menjaga kebersihan pada sepatu dengan menghilangkan bakteri yang menjadi penyebab bau kaki pada sepatu.

Upaya yang digunakan dalam penelitian ini untuk menghilangkan bakteri penyebab bau kaki pada sepatu adalah menggunakan cahaya UV-C dan kelembaban dengan variasi waktu. Cahaya UV dapat menyebabkan terbentuknya ikatan kovalen antara dua molekul timin, menghasilkan timin dimer. Timin dimer ini menyebabkan kerusakan serius dan kematian sel karena DNA dengan timin dimer tidak dapat direplikasi dan ditranskripsi sehingga bakteri mati.

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 *massenger* 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 pospat dan basa nitrogen. Mekanisme inaktivasi UV terhadap DNA dan RNA menghasilkan dimer pirimidin.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa paparan cahaya UV-C, kelembaban dan variasi waktu dapat mereduksi jumlah koloni bakteri *Escherichia coli*, dimana jumlah koloni bakteri sebelum dipapari cahaya UV-C dan kelembaban sebanyak

220,8x10<sup>7</sup> CFU/ml. Setelah dipapari cahaya UV-C dengan intensitas 260 mW/cm<sup>2</sup> dan kelembaban 60-70 % selama 60 menit jumlah koloni bakteri *Escherichia coli* yang masih aktif berkurang menjadi 1,3x10<sup>7</sup> CFU/ml, dengan persentase penurunan jumlah koloni bakteri *Escherichia coli* mencapai 99,4 %.



## **BAB V PENUTUP**

### **5.1 Kesimpulan**

Penelitian tentang pengaruh cahaya UV-C dan kelembaban udara terhadap jumlah bakteri *Escherichia coli* memiliki kesimpulan sebagai berikut:

1. Intensitas cahaya UV-C mempengaruhi jumlah bakteri *Escherichia coli*. Berdasarkan analisis RAK (Rancangan Acak Kelompok) faktorial jumlah bakteri *Escherichia coli* perlakuan intensitas cahaya UV-C 260 mW/cm<sup>2</sup> selama 60 menit merupakan perlakuan yang dapat mereduksi bakteri dalam jumlah yang banyak yaitu bakteri yang masih aktif sebesar 2,2x10<sup>7</sup> CFU/mL dan persentase penurunannya mencapai 99 %.
2. Pengaruh intensitas cahaya UV-C dan kelembaban udara yang baik untuk menonaktifkan jumlah bakteri *Escherichia coli* yaitu pada intensitas cahaya UV-C 260 mW/cm<sup>2</sup>, kelembaban 60-70 % selama waktu 60 menit dengan jumlah bakteri yang masih aktif hanya 1,3x10<sup>7</sup> CFU/mL dan persentase penurunannya mencapai 99,4 %.
3. Waktu pemaparan cahaya UV-C dan kelembaban udara juga mempengaruhi jumlah bakteri *Escherichia coli*. Semakin lama pemaparan maka bakteri yang dapat dinonaktifkan semakin banyak. Waktu pemaparan yang paling baik untuk mereduksi jumlah bakteri *Escherichia coli* adalah 60 menit.

## 5.2 Saran

Hasil penelitian yang telah dijelaskan di atas, maka penulis menyarankan:

1. Untuk penelitian selanjutnya perlu dilakukan penelitian mengenai kombinasi cahaya UV-C dengan teknik lain agar proses penonaktifan bakteri lebih efektif (tidak ada lagi bakteri yang tumbuh).
2. Penelitian ini dapat dilanjutkan dengan menggunakan kelembaban yang lebih rendah agar bakteri tereduksi maksimal.
3. Pada saat melakukan penelitian, upayakan agar seluruh alat dan bahan yang digunakan dalam kondisi steril, agar tidak terjadi kontaminasi.



## DAFTAR PUSTAKA

- Aryadi, T dan S. Sinto Dewi. 2009. *Pengaruh Sinar Ultraviolet Terhadap Pertumbuhan Bakteri Bacillus sp. Sebagai Bakteri Kontaminan*. Jurnal Kesehatan, Vol. 2, No. 2.
- Buckle, K.A., dkk. 1987. *Ilmu Pangan*. Jakarta: UI Press.
- Brooks, G. F., Butel, J. S., Morse, S. A., Jawetz, Melnick, Adelberg. 2007. *Mikrobiologi Kedokteran*. Jakarta: Kedokteran EGC.
- Binardi, Salvatore R. 2003. *The Occupational: It's Evaluation, Control, and Managing*. 2 nd edn. Washington DC: AIHA Press.
- Campbell, N.A., J.B Reece & L.G Mitchell. 1999. *Biology. Fifth Edition*. Jakarta: Erlangga.
- El-Naggar, Zaghoul. 2010. *Ayat- Ayat Kosmos Dalam al- Qur'an al- Karim Jilid 2*. Jakarta: Uin Syarif Hidayatullah.
- Effendi, Rustam dkk. 2007. *Medan Elektromagnetika Terapan*. Jakarta: Erlangga.
- Effendy, Nasrul. 1997. *Dasar-Dasar Keperawatan Kesehatan Masyarakat*. Jakarta: Kedokteran EGC.
- Fauci, A.S., Kasper, D.L., Longo, D.L, Longo, D.L, Braunwald, E., Hauser, S.L., Jameson, J.L., dan Loscalzo, Joseph. 2008. *Harrison's Principles of Internal Medicine 17th Edition*. USA: Mc Graw Hill's Access Medicine.
- Halliday dan Resnick. 1991. *Fisika Jilid I*. Jakarta: Erlangga.
- Hartanti, Vien. 2010. *Jadi Dokter Di Rumah Sendiri*. Jakarta: Pustaka Anggrek.
- Haryono, Rudi. 2012. *Keperawatan Medical Bedah Sistem Pencernaan*. Yogyakarta: Gosyen Publisher.
- Jawetz E., dkk. 1995. *Mikrobiologi Kedokteran* ed. 20. San Francisco: University of California.
- Koutchma, T .N., Forney, L.J., dan Moraru, C,I. 2009. *Ultraviolet Light in food Technology: Principles and Applications*. Boca Raton: CRC Press.

- Krause, M. V., dan Mahan, L. K. 1984. *Food Nutrition and Diet Therapy: A Textbook of Nutritional Care*. Philadelphia: Saunders.
- Lewis, R. 1997. *Human Genetics Concepts And Application*. Second Edition. WEB, USA. P. 189-191 Peatros dan Michael.
- Lerner, K. Lee dan Lerner, B. W. 2003. *World of Microbiology and Immunology. United States of America, Farmington Hills: The Gale Group, Inc.*
- Leyner, Mark. 2011. *Ilmu Kesehatan*. Jakarta: Gramedia Pustaka.
- Ladock, Jason. 2017. How to Prevent Stinky Feet. <http://www.healthguidance.org/entry/11520/1/How-toPrevent-Stinky-Feet.html>. diakses tanggal 2 Mei 2017.
- Messina et al. 2015. *Is it Possible to Sanitize Athletes' Shoes?*. *Atheltic Training*. 50(2):126-132.
- Murtono. 2008. *Konsep Cahaya Dalam al-Quran dan Sains*. jurnal kaunia. Vol. IV, No.2.
- Munawwir, Achmad dan M. Fairuz. 2007. *Al-Munawwir Edisi Indonesia-Arab*. Surabaya: Pustaka Progressif.
- Pelczar., Michael J. dan E. C. S. Chan. 2008. *Dasar-Dasar Mikroorganisme*. Jakarta: UI Press.
- Sears, Zemansky. 1982. *Fisika Untuk Universitas I*. Bandung: Binacipta.
- Saksono L. 1994. *Kesehatan Lingkungan*. Yogyakarta: Gajah Mada University Press.
- Smith-Keary P. F. 1988. *Genetic Elements in Escherichia coli*. London: Macmillan Molecular biology series.
- Soedjono. S. 2003. *Aplikasi Mutasi Somaklonal & Varietas Somaklonal dalam Pemuliaan Tanaman*. *Jurnal Litbag Pertanian* 22(2): hal. 71-72.
- Sutrisno. 1979. *Fisika Dasar Gelombang dan Optik*. Bandung: ITB Press.
- Tipler, P. A. 1998. *Fisika untuk Sains dan Teknik Jilid I*. Jakarta: Erlangga.
- Toselli, leigh. 2011. *Manikur dan Pedikur*. Jakarta: Gramedia Pustaka.

Tamarin, R. 1995. *Principles of Genetics. Third Edition*. WEB, Boston. hal. 452-454.

Unifit. 2015. *365 Tips For women*. Jakarta: Guepedi.

Waluyo L. 2008. *Teknik dan Metode Dasar dalam Mikrobiologi*. Malang: Universitas Muhammadiyah Malang Press.





# LAMPIRAN

Lampiran 1 Data Rata-Rata Jumlah Koloni Bakteri *Escherichia coli* Setelah Dipapari Cahaya Ultraviolet-C dan Kelembaban Udara

Perlakuan			Jumlah Bakteri (CFU/ml)			Rata-rata
I (mW/cm <sup>2</sup> )	RH (%)	t (m)	Ulangan I	Ulangan II	Ulangan III	
-	-	-	210,2x10 <sup>7</sup>	267,7 x10 <sup>7</sup>	184,5 x10 <sup>7</sup>	220,8x10 <sup>7</sup>
100	81-90	20	170,0 x10 <sup>7</sup>	172,2 x10 <sup>7</sup>	169,7 x10 <sup>7</sup>	170,6x10 <sup>7</sup>
		30	76,2 x10 <sup>7</sup>	81,1 x10 <sup>7</sup>	74,8 x10 <sup>7</sup>	77,3x10 <sup>7</sup>
		40	47,7 x10 <sup>7</sup>	46,2 x10 <sup>7</sup>	40,2 x10 <sup>7</sup>	47,7x10 <sup>7</sup>
		50	30,3 x10 <sup>7</sup>	30,9 x10 <sup>7</sup>	30,5 x10 <sup>7</sup>	30,5x10 <sup>7</sup>
		60	19,4 x10 <sup>7</sup>	15,0 x10 <sup>7</sup>	12,6 x10 <sup>7</sup>	15,7x10 <sup>7</sup>
	71-80	20	120,5 x10 <sup>7</sup>	136,7 x10 <sup>7</sup>	139,5 x10 <sup>7</sup>	132,2x10 <sup>7</sup>
		30	78,3 x10 <sup>7</sup>	63,1 x10 <sup>7</sup>	81,7 x10 <sup>7</sup>	74,4x10 <sup>7</sup>
		40	48,2 x10 <sup>7</sup>	48,2 x10 <sup>7</sup>	46,8 x10 <sup>7</sup>	44,6x10 <sup>7</sup>
		50	28,9 x10 <sup>7</sup>	30,2 x10 <sup>7</sup>	21,4 x10 <sup>7</sup>	26,8x10 <sup>7</sup>
		60	15,1 x10 <sup>7</sup>	13,5 x10 <sup>7</sup>	10,1 x10 <sup>7</sup>	12,9x10 <sup>7</sup>
	60-70	20	96,5 x10 <sup>7</sup>	98,4 x10 <sup>7</sup>	93,2 x10 <sup>7</sup>	96,0x10 <sup>7</sup>
		30	79,7 x10 <sup>7</sup>	69,3 x10 <sup>7</sup>	60,3 x10 <sup>7</sup>	69,7x10 <sup>7</sup>
		40	42,9 x10 <sup>7</sup>	32,7 x10 <sup>7</sup>	48,6 x10 <sup>7</sup>	41,4x10 <sup>7</sup>
		50	21,9 x10 <sup>7</sup>	22,5 x10 <sup>7</sup>	31,6 x10 <sup>7</sup>	25,4x10 <sup>7</sup>
		60	13,5 x10 <sup>7</sup>	13,6 x10 <sup>7</sup>	7,5 x10 <sup>7</sup>	11,5x10 <sup>7</sup>
180	81-90	20	88,9 x10 <sup>7</sup>	89,1 x10 <sup>7</sup>	89,4 x10 <sup>7</sup>	89,1x10 <sup>7</sup>
		30	73,6 x10 <sup>7</sup>	68,2 x10 <sup>7</sup>	62,9 x10 <sup>7</sup>	68,2x10 <sup>7</sup>
		40	33,1 x10 <sup>7</sup>	42,5 x10 <sup>7</sup>	49,9 x10 <sup>7</sup>	41,8x10 <sup>7</sup>
		50	23,3 x10 <sup>7</sup>	22 x10 <sup>7</sup>	21,8 x10 <sup>7</sup>	22,3x10 <sup>7</sup>
		60	12,1 x10 <sup>7</sup>	11,6 x10 <sup>7</sup>	10 x10 <sup>7</sup>	11,2x10 <sup>7</sup>
	71-80	20	84,8 x10 <sup>7</sup>	75,7 x10 <sup>7</sup>	70,5 x10 <sup>7</sup>	77,0x10 <sup>7</sup>
		30	37,5 x10 <sup>7</sup>	36,4 x10 <sup>7</sup>	38,9 x10 <sup>7</sup>	37,6x10 <sup>7</sup>
		40	23,3 x10 <sup>7</sup>	21,8 x10 <sup>7</sup>	24,7 x10 <sup>7</sup>	23,2x10 <sup>7</sup>
		50	13,6 x10 <sup>7</sup>	13,4 x10 <sup>7</sup>	13,9 x10 <sup>7</sup>	13,6x10 <sup>7</sup>
		60	11,6 x10 <sup>7</sup>	9,3 x10 <sup>7</sup>	8,8 x10 <sup>7</sup>	9,9x10 <sup>7</sup>
	60-70	20	32,6 x10 <sup>7</sup>	31,1 x10 <sup>7</sup>	34,0 x10 <sup>7</sup>	32,6x10 <sup>7</sup>
		30	17,7 x10 <sup>7</sup>	15,7 x10 <sup>7</sup>	13,0 x10 <sup>7</sup>	15,4x10 <sup>7</sup>
		40	11,7 x10 <sup>7</sup>	12,1 x10 <sup>7</sup>	11,9 x10 <sup>7</sup>	11,9x10 <sup>7</sup>
		50	10,7 x10 <sup>7</sup>	8,2 x10 <sup>7</sup>	7,6 x10 <sup>7</sup>	8,8x10 <sup>7</sup>
		60	7,7 x10 <sup>7</sup>	7,5 x10 <sup>7</sup>	6,2 x10 <sup>7</sup>	7,1x10 <sup>7</sup>
260	81-90	20	29 x10 <sup>7</sup>	24,2 x10 <sup>7</sup>	30,6 x10 <sup>7</sup>	27,9x10 <sup>7</sup>
		30	16,1 x10 <sup>7</sup>	12,9 x10 <sup>7</sup>	13,7 x10 <sup>7</sup>	14,2x10 <sup>7</sup>
		40	11,3 x10 <sup>7</sup>	7,0 x10 <sup>7</sup>	6,8 x10 <sup>7</sup>	8,4x10 <sup>7</sup>
		50	7,2 x10 <sup>7</sup>	5,1 x10 <sup>7</sup>	4,6 x10 <sup>7</sup>	5,6x10 <sup>7</sup>
		60	4,6 x10 <sup>7</sup>	4,4 x10 <sup>7</sup>	3,5 x10 <sup>7</sup>	4,1x10 <sup>7</sup>
	71-80	20	19,1 x10 <sup>7</sup>	17,8 x10 <sup>7</sup>	18,6 x10 <sup>7</sup>	18,5x10 <sup>7</sup>
		30	15,4 x10 <sup>7</sup>	17,1 x10 <sup>7</sup>	7,8 x10 <sup>7</sup>	13,4x10 <sup>7</sup>
		40	6,3 x10 <sup>7</sup>	6,6 x10 <sup>7</sup>	4,9 x10 <sup>7</sup>	5,9x10 <sup>7</sup>

60-70	50	$4,0 \times 10^7$	$3,9 \times 10^7$	$3,4 \times 10^7$	$3,8 \times 10^7$
	60	$2,6 \times 10^7$	$2,7 \times 10^7$	$2,0 \times 10^7$	$2,4 \times 10^7$
	20	$17,7 \times 10^7$	$14,6 \times 10^7$	$17,1 \times 10^7$	$16,4 \times 10^7$
	30	$9,5 \times 10^7$	$7,0 \times 10^7$	$7,8 \times 10^7$	$8,1 \times 10^7$
	40	$5,4 \times 10^7$	$4,9 \times 10^7$	$4,4 \times 10^7$	$4,9 \times 10^7$
	50	$3,3 \times 10^7$	$3,0 \times 10^7$	$2,7 \times 10^7$	$3,0 \times 10^7$
	60	$1,7 \times 10^7$	$1,1 \times 10^7$	$1,2 \times 10^7$	$1,3 \times 10^7$



Lampiran 2 Data Rata-Rata Jumlah Koloni Bakteri *Escherichia coli* Setelah Dipapari Cahaya Ultraviolet-C

UV	Waktu	Mean
100 mW/cm <sup>2</sup>	20 menit	133.000
	30 menit	82.111
	40 menit	64.889
	50 menit	45.667
	60 menit	13.333
180 mW/cm <sup>2</sup>	20 menit	65.778
	30 menit	39.444
	40 menit	25.111
	50 menit	14.444
	60 menit	9.000
260 mW/cm <sup>2</sup>	20 menit	20.556
	30 menit	11.889
	40 menit	5.889
	50 menit	3.778
	60 menit	2.222

Lampiran 3 Persentase Penurunan Jumlah Bakteri *Eschericia coli* setelah Dipapari Cahaya UV-C dan Kelembaban Udara

I (mW/cm <sup>2</sup> )	RH (%)	Waktu (menit)	Persentase Penurunan (%)
100	81-90	20	22,7
		30	68,4
		40	79,8
		50	86,1
		60	92,8
	71-80	20	40,1
		30	64,9
		40	78,3
		50	87,8
		60	94,1
	60-70	20	56,5
		30	66,3
		40	81,2
		50	88,4
		60	94,7
180	81-90	20	59,6
		30	69,1
		40	81,2
		50	89,9
		60	94,9
	71-80	20	65,1
		30	82,9
		40	89,4
		50	93,8
		60	95,5
	60-70	20	85,2
		30	93,0
		40	94,6
		50	96,0
		60	96,7
260	81-90	20	87,3
		30	93,5
		40	96,1
		50	97,4
		60	98,1
	71-80	20	91,6
		30	93,9
		40	97,3
		50	98,2
		60	98,9
	60-70	20	92,5
		30	96,3

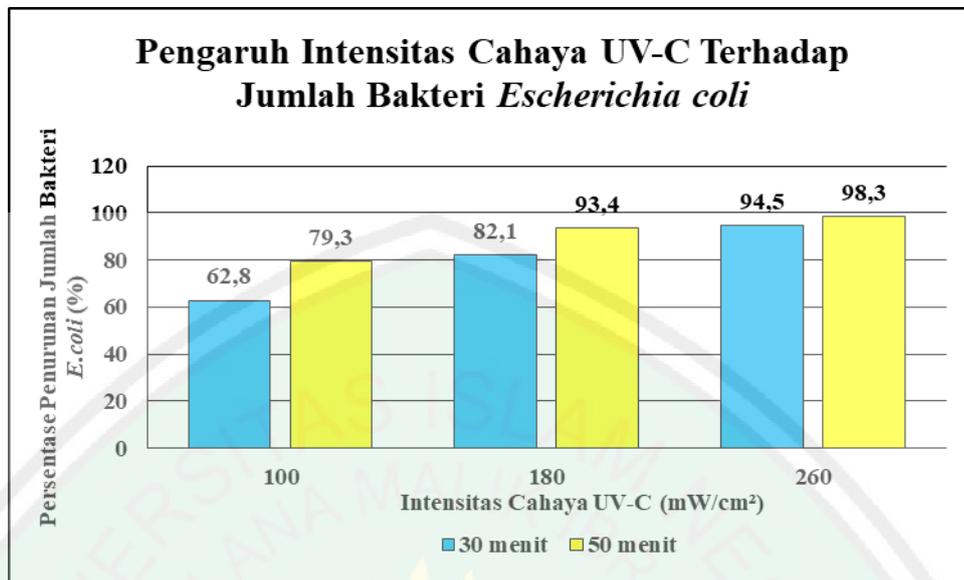
260	60-70	40	97,7
		50	98,6
		60	99,4



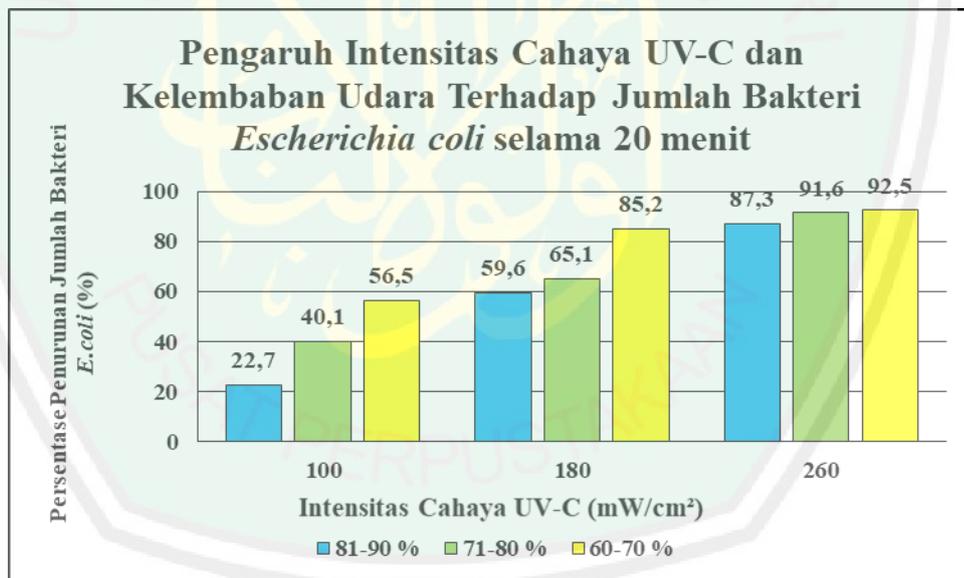
Lampiran 4 Persentase Penurunan Jumlah Bakteri *Eschericia coli* setelah Dipapari Cahaya UV-C

<b>Cahaya UV-C (mW/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Waktu (menit)</b>	<b>Persentase Penurunan (%)</b>
100	20	39,7
	30	62,8
	40	70,6
	50	79,3
	60	93,9
180	20	70,2
	30	82,1
	40	88,6
	50	93,4
	60	95,9
260	20	90,7
	30	94,6
	40	97,3
	50	98,3
	60	99,0

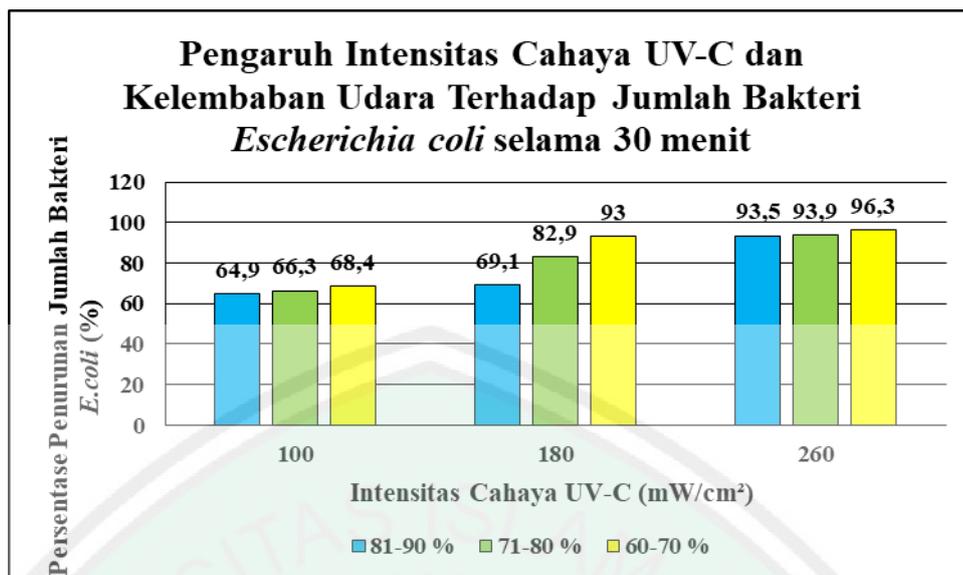
Lampiran 5 Grafik Hasil Penelitian.



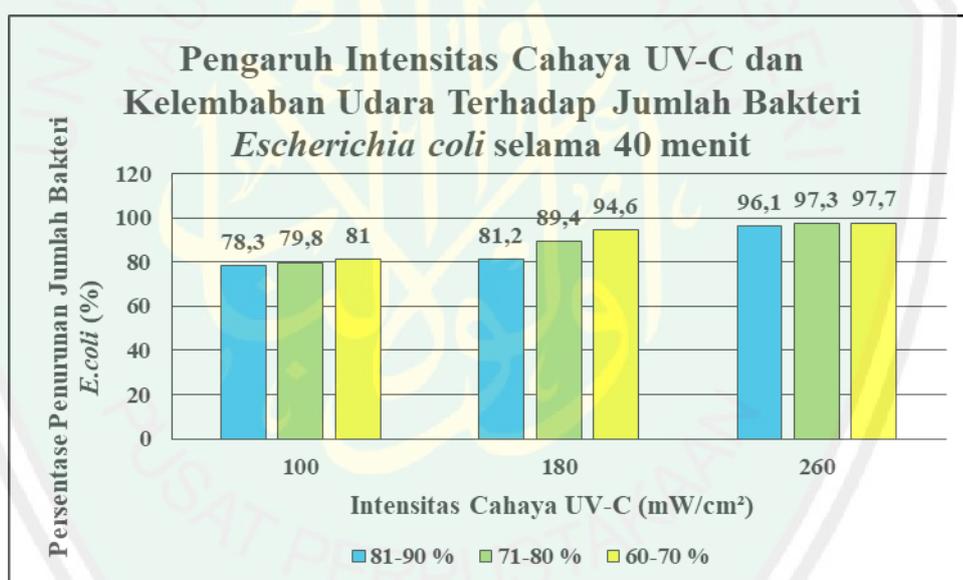
Gambar 1 Persentase Penurunan Jumlah Bakteri *Escherichia coli* dengan Variasi Intensitas



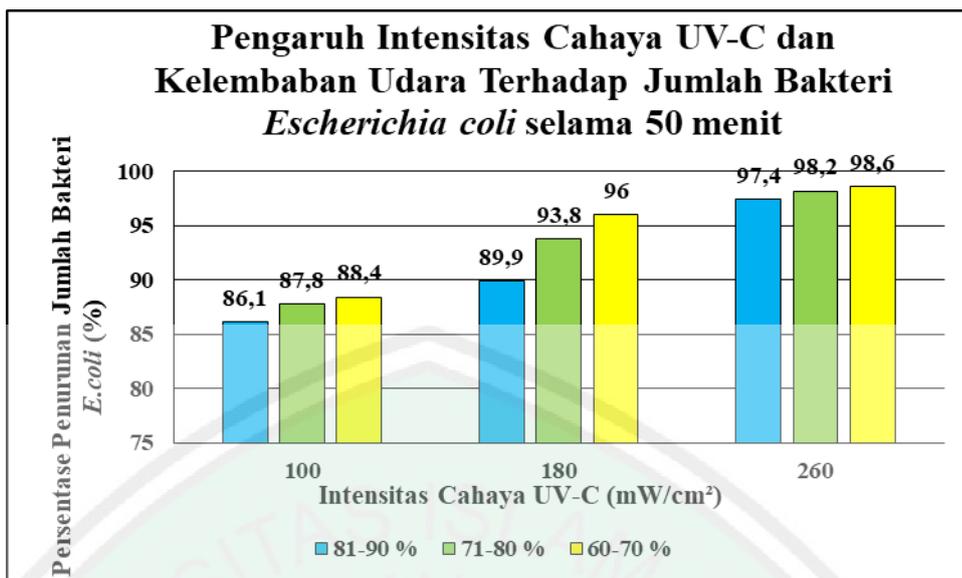
Grafik 2 Persentase Penurunan Jumlah Bakteri *Escherichia coli* dengan Variasi Intensitas Cahaya Ultraviolet-C dan Kelembaban Udara



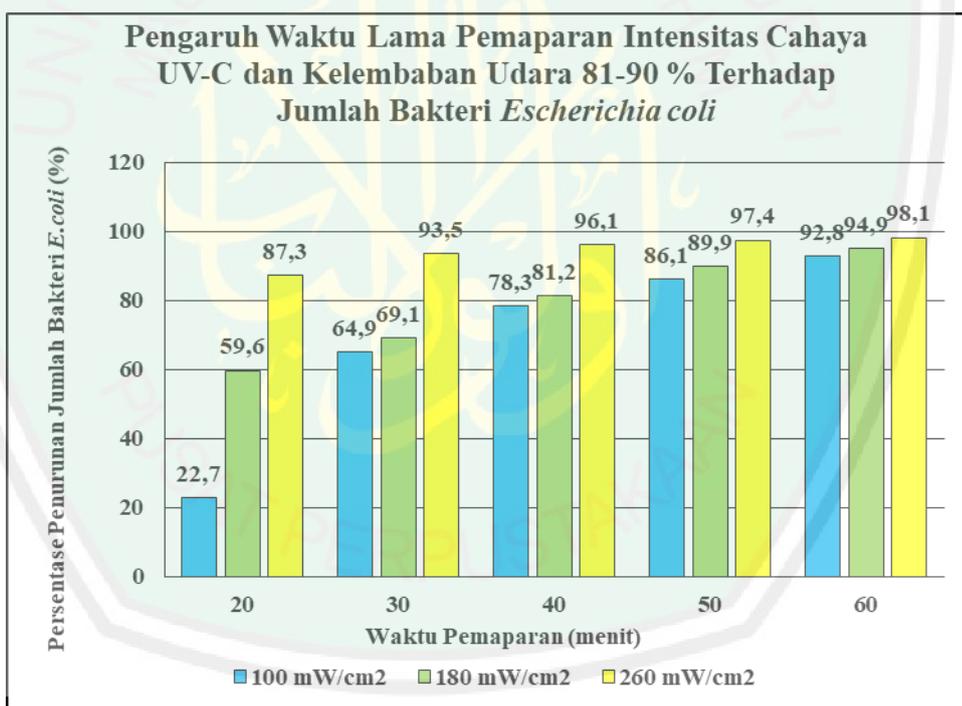
Grafik 3 Persentase Penurunan Jumlah Bakteri *Escherichia coli* dengan Variasi Intensitas Cahaya Ultraviolet-C dan Kelembaban Udara



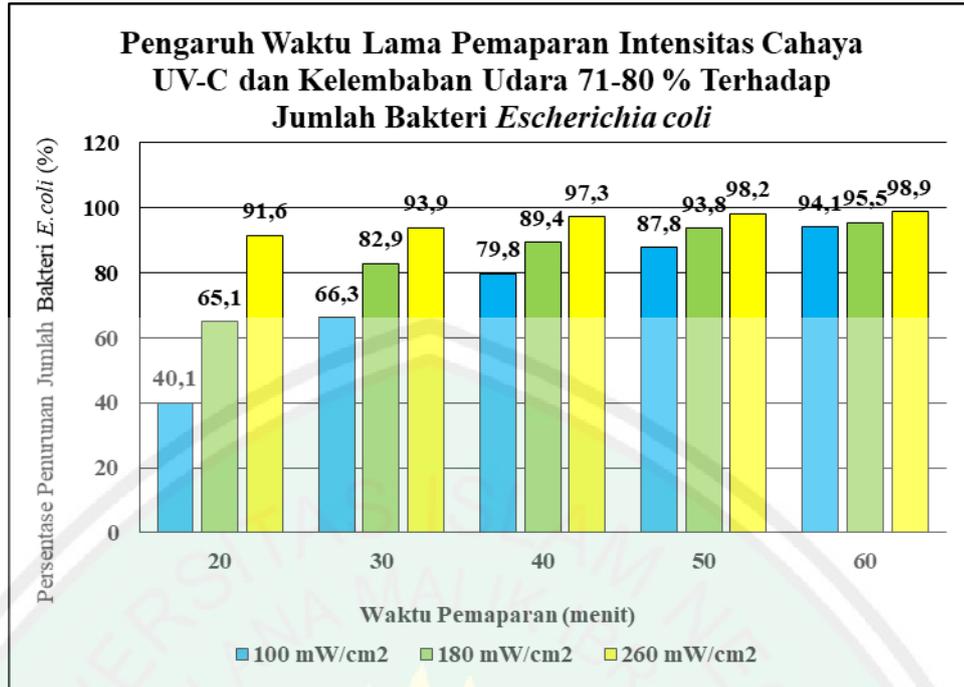
Grafik 4 Persentase Penurunan Jumlah Bakteri *Escherichia coli* dengan Variasi Intensitas Cahaya Ultraviolet-C dan Kelembaban Udara



Grafik 5 Persentase Penurunan Jumlah Bakteri *Escherichia coli* dengan Variasi Intensitas Cahaya Ultraviolet-C dan Kelembaban Udara

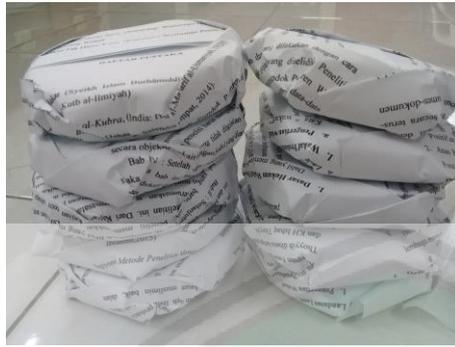


Gambar 6 Persentase Penurunan Jumlah Bakteri *Escherichia coli* dengan Variasi Waktu Pemaparan



Gambar 7 Persentase Penurunan Jumlah Bakteri *Escherichia coli* dengan Variasi Waktu Pemaparan

Lampiran 6 Dokumentasi Kegiatan Penelitian.



Cawan siap disterilkan



Penimbangan Media



Proses Pembuatan Media



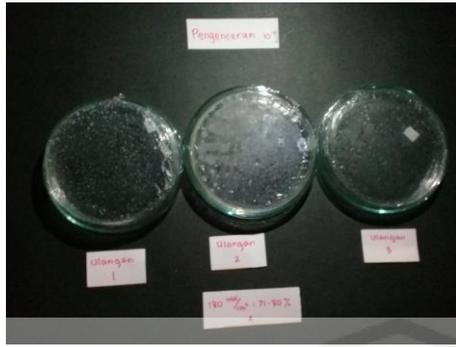
Media siap disterilkan



Lempeng sepatu yang telah disterilkan



Perlengkapan pemaparan bakteri



Bakteri siap dihitung



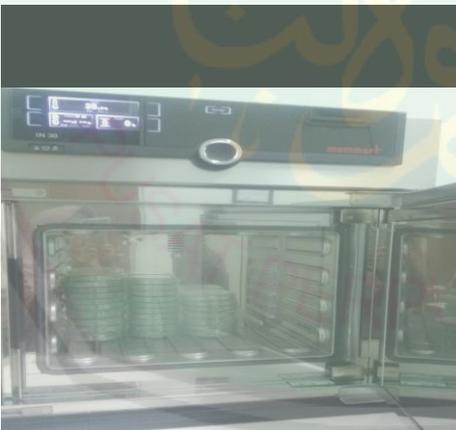
Proses Pengaturan Kelembaban



Aquades siap digunakan untuk pengenceran



Proses Inkubasi Bakteri



Bakteri diinkubasi selama 1 hari



Proses penghitungan Bakteri



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 : SITI LOMRAH  
NIM : 13640084  
Fakultas/ Jurusan : Sains dan Teknologi/Fisika  
Judul Skripsi : Pengaruh Cahaya Ultraviolet C (UV-C) dan Kelembaban Udara (RH) terhadap Jumlah Bakteri *Escherichia coli* pada Kulit Sepatu  
Pembimbing I : Ahmad Abtokhi M.Pd  
Pembimbing II : Umayyatus Syarifah, MA

No	Tanggal	HAL	Tanda Tangan
1	26 Maret 2017	Konsultasi Bab I	
2	28 Maret 2017	Konsultasi Bab II dan III	
3	2 Juli 2017	Konsultasi Pemaparan Data	
4	31 Agustus 2017	Konsultasi Pemaparan Data	
5	16 September 2017	Konsultasi Pembahasan	
6	21 September 2017	Konsultasi Bab IV dan Bab V	
7	23 September 2017	Konsultasi Agama	
8	25 Agustus 2017	Konsultasi Agama	
9	1 Oktober 2017	Konsultasi semua bab, abstrak dan ACC	
10	2 Oktober 2017	Konsultasi Agama dan acc	

Malang, November 2017  
Mengetahui,  
Ketua Jurusan Fisika,



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