

**PENGARUH PEMAPARAN *LIGHT EMITTING DIODE* (LED)
TERHADAP PERTUMBUHAN BAKTERI *Listeria monocytogenes*,
pH, DAN ORGANOLEPTIK PADA JUS APEL**

SKRIPSI

Oleh:
KHOIRUR RO'ISAH
NIM. 12640045



**JURUSAN FISIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM
MALANG
2019**

**PENGARUH PEMAPARAN *LIGHT EMITTING DIODE* (LED)
TERHADAP PERTUMBUHAN BAKTERI *Listeria monocytogenes*,
pH, DAN ORGANOLEPTIK PADA JUS APEL**

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:
KHOIRUR RO'ISAH
NIM. 12640045**

**JURUSAN FISIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM
MALANG
2019**

HALAMAN PERSETUJUAN

PENGARUH PEMAPARAN *LIGHT EMITTING DIODE* (LED)
TERHADAP PERTUMBUHAN BAKTERI *Listeria monocytogenes*,
pH, DAN ORGANOLEPTIK PADA JUS APEL

SKRIPSI

Oleh:

Khoirur Ro'isah
NIM. 12640045

Telah Diperiksa dan Disetujui untuk Diuji,
Pada Tanggal 19 Desember 2018

Pembimbing I,



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

Pembimbing II,



Erika Rani, M. Si
NIP. 19810613 200604 2 002

Mengetahui,
Ketua Jurusan Fisika



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

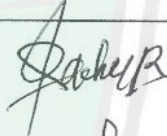
HALAMAN PENGESAHAN

PENGARUH PEMAPARAN *LIGHT EMITTING DIODE* (LED)
TERHADAP PERTUMBUHAN BAKTERI *Listeria monocytogenes*,
pH, DAN ORGANOLEPTIK PADA JUS APEL

SKRIPSI


Oleh:
Khoirur Ro'isah
NIM. 12640045

Telah Dipertahankan di Depan Dewan Penguji
Dan Diterima sebagai Salah Satu Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Sains (S.Si)
Pada Tanggal: 19 desember 2018

Penguji Utama :	<u>Ahmad Abtokhi, M.Pd</u> NIP.19761003 200312 1 004	
Ketua Penguji :	<u>Khusnul Yakin, M.Si</u> NIDP. 19910103 20160801 1 073	
Sekretaris Penguji :	<u>Dr. M. Tirono, M.Si</u> NIP.19641211 199111 1 001	
Anggota Penguji :	<u>Erika Rani, M.Si</u> NIP. 19810613 200604 2 002	

Mengesahkan,
Ketua Jurusan Fisika




D.s. Abdul Basid, M.Si
NIP.19650504 199003 1 003

HALAMAN PERNYATAAN

Saya yang bertandatangan di bawah ini:

Nama : Khoirur Ro'isah
NIM : 12640045
Jurusan : Fisika
Fakultas : Sains dan Teknologi
Judul Penelitian : Pengaruh Pemaparan *Light Emitting Diode* (LED) Terhadap
Pertumbuhan Bakteri *Listeria monocytogenes*, pH, dan
Organoleptik pada Jus Apel

Menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa hasil penelitian saya ini tidak terdapat unsur-unsur penjiplakan karya penelitian atau karya ilmiah yang pernah dilakukan atau dibuat oleh orang lain, kecuali yang tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka. Apabila ternyata hasil penelitian ini terbukti terdapat unsur-unsur jiplakan maka saya bersedia untuk menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Malang, 14 Nopember 2018

Yang Membuat Pernyataan,



Khoirur Ro'isah
NIM. 12640045

MOTTO

خير الناس أنفعهم للناس

*“Sebaik-baik Manusia Adalah yang Bermanfaat
Bagi Orang Lain”*

فَإِنَّ مَعَ الْعُسْرِ يُسْرًا ۖ إِنَّ مَعَ الْعُسْرِ يُسْرًا ۖ

*“Karena Sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan,
Sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan”
(Q.S al-Insyirah: 5-6).*

HALAMAN PERSEMBAHAN

Alhamdulillahirobbil'alamin...

Tiada kuasa dan tiada kekuatan kecuali hanya dengan kehendak Allah SWT,
karya tulis ini penulis persembahkan teruntuk:

- Ibu Tercinta, Ibu Nurul Yatimah
- Adik Tersayang, M. Mishbah Salimi
- Seluruh Keluarga Besar Bani Abd. Chamid yang telah mendoakan selama ini
- Segenap pihak yang mendoakan dan membantu atas terselesainya karya tulis ini



KATA PENGANTAR



Assalamu'alaikum Wr. Wb.

Alhamdulillah puji syukur kehadiran Allah Swt yang telah melimpahkan rahmat, ni'mat, taufiq, hidayah serta inayah-Nya. Sholawat dan salam semoga selalu tercurahkan kepada junjungan kita Baginda Rasulullah, Nabi besar Muhammad Saw serta para keluarga, sahabat, dan pengikut-pengikutnya. Atas kehendak dan ridho Allah Swt, penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **“Pengaruh Pemaparan *Light Emitting Diode (LED)* Terhadap Pertumbuhan Bakteri *Listeria monocytogenes*, pH, Dan Organoleptik pada Jus Apel”** sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains (S.Si) di Jurusan Fisika Fakultas Sains Dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.

Penulis haturkan ucapan terimakasih *jazakumullah ahsanal jaza'* kepada semua pihak yang telah membantu terselesaikannya skripsi ini. Ucapan terimakasih ini penulis sampaikan kepada:

1. Prof. Dr. H. 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.

4. Dr. M. Tirono, M.Si, selaku dosen pembimbing skripsi, yang telah banyak memberi kritik dan saran yang sangat berguna.
5. Erika Rani, M.Si selaku Dosen Pembimbing agama, yang bersedia meluangkan waktu untuk memberikan bimbingan dan pengarahan bidang integrasi Sains dan Al-Quran serta Hadist.
6. Orang tua tercinta serta segenap keluarga yang telah memberikan dukungan, restu, serta selalu mendoakan penulis dalam menuntut ilmu.
7. Segenap sivitas akademika Jurusan Fisika, terutama seluruh dosen, terima kasih atas segenap ilmu dan bimbingannya.
8. Teman-teman seperjuangan, teman-teman Biophysics dan teman-teman Fisika angkatan 2012. Terimakasih atas kebersamaan, dukungan, dan persahabatan serta pengalaman selama ini.

Penulis menyadari dalam penulisan skripsi ini masih terdapat banyak kekurangan, oleh karena itu segala kritik dan saran yang bersifat konstruktif sangat diharapkan demi kemajuan bersama. Semoga skripsi ini bisa memberikan manfaat, tambahan ilmu dan dapat menjadikan inspirasi kepada para pembaca. *Amin Ya Rabbal Alamin.*

Wassalamu'alaikum Wr. Wb.

Malang, Nopember 2018

Penulis

DAFTAR ISI

COVER	i
HALAMAN JUDUL	ii
HALAMAN PERSETUJUAN	iii
HALAMAN PENGESAHAN	iv
HALAMAN PERNYATAAN	v
MOTTO	vi
HALAMAN PERSEMBAHAN	vii
KATA PENGANTAR	viii
DAFTAR ISI	x
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
ABSTRAK	xv
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	6
1.3 Tujuan Penelitian	6
1.4 Manfaat Penelitian	7
1.5 Batasan Masalah	7
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Gelombang Elektromagnetik	8
2.1.1 Definisi Gelombang Elektromagnetik	8
2.1.2 Spektrum Gelombang Elektromagnetik	9
2.1.3 Ciri-ciri Gelombang Elektromagnetik	10
2.1.4 Mekanisme Perambatan Gelombang Elektromagnetik	11
2.1.5 Cahaya Tampak	14
2.1.6 <i>Light Emitting Diode</i> (LED)	15
2.1.7 Energi yang Dibawa oleh Gelombang Elektromagnetik	17
2.2 Apel	18
2.3 Bakteri	19
2.3.1 Definisi Bakteri	19
2.3.2 Struktur Bakteri	20
2.3.3 Pertumbuhan dan Perkembangan Bakteri	23
2.3.4 Kerusakan Membran Sel	24
2.4 Bakteri <i>Listeria monocytogenes</i>	26
2.4.1 Klasifikasi Bakteri <i>Listeria monocytogenes</i>	26
2.4.2 Karakteristik dan Morfologi Bakteri <i>Listeria monocytogenes</i>	26
2.4.3 Penyakit yang Disebabkan Bakteri <i>Listeria monocytogenes</i>	27
2.5 Interaksi Radiasi Elektromagnetik dengan Bahan	29
2.6 Interaksi Cahaya Terhadap Sel Bakteri	29
BAB III METODE PENELITIAN	
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	34
3.2 Alat dan Bahan Penelitian	34
3.2.1 Alat-alat	34

3.2.2 Bahan-bahan	36
3.3 Desain Rangkaian	36
3.4 Prosedur Penelitian	37
3.4.1 Sterilisasi.....	38
3.4.2 Pembuatan Media NA (<i>Nutrien Agar</i>).....	38
3.4.3 Pembuatan Media NB (<i>Nutrien Broth</i>).....	38
3.4.4 Pembuatan Media PCA (<i>Plate Count Agar</i>).....	39
3.4.5 Penumbuhan Bakteri <i>Listeria monocytogenes</i>	39
3.4.6 Penumbuhan Bakteri <i>Listeria monocytogenes</i> pada Sampel	39
3.4.7 Perlakuan Pemaparan <i>Light Emitting Diode</i> (LED)	39
3.4.8 Perhitungan Koloni Bakteri	40
3.4.9 Pengujian Kadar pH.....	41
3.4.10 Penilaian Organoleptik (Warna, rasa, dan aroma).....	41
3.5 Teknik Pengumpulan Data.....	42
3.5.1 Jumlah Bakteri <i>Listeria monocytogenes</i>	42
3.5.2 Kadar pH.....	42
3.5.3 Penilaian Organoleptik (Warna, rasa, dan aroma).....	43
3.6 Teknik Analisis Data.....	45
3.7 Diagram Alir Penelitian	46
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	
4.1 Data Hasil Penelitian.....	47
4.1.1 Pengaruh Intensitas dan Lama Pemaparan <i>Light Emitting Diode</i> (LED) terhadap Pertumbuhan Bakteri <i>Listeria Monocytogenes</i> pada Jus Apel.....	47
4.1.2 Pengaruh Intensitas dan Lama Pemaparan <i>Light Emitting Diode</i> (LED) terhadap pH pada Jus Apel.....	51
4.1.3 Pengaruh Intensitas dan Lama Pemaparan <i>Light Emitting Diode</i> (LED) terhadap Organoleptik pada Jus Apel	54
4.2 Pembahasan.....	62
4.2.1 Pengaruh Intensitas dan Lama Pemaparan <i>Light Emitting Diode</i> (LED) terhadap Jumlah Bakteri <i>Listeria monocytogenes</i> pada Jus Apel	62
4.2.2 Pengaruh Intensitas dan Lama Pemaparan <i>Light Emitting Diode</i> (LED) terhadap pH Jus Apel	63
4.2.3 Pengaruh Intensitas dan Lama Pemaparan <i>Light Emitting Diode</i> (LED) terhadap Organoleptik Jus Apel.....	64
4.3 Integrasi dengan Al-Quran.....	67
BAB V PENUTUP	
5.1 Kesimpulan	71
5.2 Saran	72
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Perambatan Gelombang Elektromagnetik	8
Gambar 2.2	Refleksi (Pemantulan) Gelombang Elektromagnetik	12
Gambar 2.3	<i>Scattering</i> (Hamburan) Gelombang Elektromagnetik	12
Gambar 2.4	Refraksi (Pembiasan) Gelombang Elektromagnetik	13
Gambar 2.5	Difraksi (Lenturan) Gelombang Elektromagnetik	14
Gambar 2.6	Bakteri <i>Listeria monocytogenes</i>	26
Gambar 2.7	Mekanisme Cahaya Terhadap Sel Bakteri	30
Gambar 2.8	Mekanisme Fotofisika.....	31
Gambar 3.1	Desain Rangkaian Perlakuan Bakteri <i>Listeria monocytogenes</i>	36
Gambar 3.2	Diagram Alir Penelitian	46
Gambar 4.1	Panjang Gelombang Uji UV-Vis dari Bakteri <i>Listeria monocytogenes</i>	47
Gambar 4.2	(a) Grafik pengaruh intensitas terhadap persentase penurunan jumlah koloni bakteri <i>Listeria monocytogenes</i> pada jus apel (b) Grafik pengaruh lama pemaparan terhadap persentase penurunan jumlah koloni bakteri <i>Listeria monocytogenes</i> pada jus apel	50
Gambar 4.3	(a) Diagram pengaruh intensitas terhadap pH jus apel, (b) Diagram pengaruh lama pemaparan terhadap pH jus apel	53
Gambar 4.4	(a) Diagram pengaruh intensitas terhadap rasa jus apel, (b) Diagram pengaruh lama pemaparan terhadap rasa jus apel.....	58
Gambar 4.5	(a) Diagram pengaruh intensitas terhadap aroma jus apel, (b) Diagram pengaruh lama pemaparan terhadap aroma jus apel	60

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Spektrum Gelombang Elektromagnetik.....	10
Tabel 2.2 Spektrum Cahaya Tampak dan Warna-warna Komplementer	15
Tabel 3.1 Pengolahan Data Jumlah Bakteri	42
Tabel 3.2 Pengolahan Data Kadar pH.....	43
Tabel 3.3 Pengolahan Data Warna.....	44
Tabel 3.4 Pengolahan Data Rasa.....	44
Tabel 3.5 Pengolahan Data Aroma	45
Tabel 4.1 Data Persentase Penurunan Bakteri <i>Listeria monocytogenes</i> Setelah Dipapari <i>Light Emitting Diode</i> (LED)	48
Tabel 4.2 Data Kadar pH Jus Apel Setelah Dipapari <i>Light Emitting Diode</i> (LED)	52
Tabel 4.3 Data Warna jus Apel Setelah Dipapari <i>Light Emitting Diode</i> (LED)	55
Tabel 4.4 Data Rasa Jus Apel Setelah Dipapari <i>Light Emitting Diode</i> (LED).....	56
Tabel 4.5 Data Aroma Jus Apel Setelah Dipapari <i>Light Emitting Diode</i> (LED)	59

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Data Hasil Rata-rata Jumlah Koloni Bakteri *Listeria monocytogenes*
Lampiran 2 Foto Alat dan Bahan Penelitian



ABSTRAK

Ro'isah, Khoirur. 2019. **Pengaruh Pemaparan *Light Emitting Diode* (LED) Terhadap Pertumbuhan Bakteri *Listeria monocytogenes*, pH, dan Organoleptik pada Jus Apel**. Skripsi. Jurusan Fisika Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang. Pembimbing: (I) Dr. M. Tirono, M.Si, (II) Erika Rani, M. Si.

Kata Kunci: *Listeria monocytogenes*, LED, Intensitas, pH, Organoleptik Jus Apel

Buah apel sering dikonsumsi oleh banyak orang, yang dapat terkontaminasi oleh bakteri patogen, yaitu bakteri *Listeria monocytogenes* yang dapat menyebabkan penyakit listeria (listeriosis) karena proses sterilisasi yang kurang diperhatikan. *Light Emitting Diode* (LED) merupakan proses yang efektif untuk sterilisasi makanan dan minuman. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh pemaparan LED terhadap pertumbuhan bakteri *L. monocytogenes*, pH, dan organoleptik (warna, rasa, aroma) pada jus apel. Metode yang dilakukan pada penelitian ini adalah jus apel yang telah ditumbuhi bakteri *L.monocytogenes* dipapari LED dengan intensitas 0 mW/cm², 50 mW/cm², 75 mW/cm², 100 mW/cm², 125 mW/cm² dan lama pemaparan 10 menit, 20 menit, 30 menit, 40 menit, dan 50 menit. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa pada keadaan kontrol jumlah bakteri yang aktif 25,2 x 10⁸ CFU/ml dan pH 3,7. Paparan LED dengan intensitas 50 mW/cm² selama 30 menit menghasilkan jumlah bakteri yang aktif 16,9 x 10⁸ CFU/ml dengan persentase penurunan jumlah bakteri 32,54 % dan pH 3,8. Pada intensitas 125 mW/cm² dan lama pemaparan 50 menit persentase penurunan jumlah bakteri 86,51 % dengan jumlah bakteri yang aktif 3,4 x 10⁸ CFU/ml dan kadar pH 4,1. Paparan LED tidak memberikan pengaruh yang nyata terhadap warna, rasa, dan aroma jus apel karena pengaruh oksidasi. Hal ini menunjukkan bahwa LED dapat menghambat pertumbuhan bakteri *L.monocytogenes* dengan meningkatnya intensitas dan lama pemaparan namun tidak mempengaruhi kadar pH dan organoleptik jus apel secara signifikan.

ABSTRACT

Ro'isah, Khoirur. 2019. **The Influence of The Light Emitting Diode (LED) Exposure Towards The Growth of *Listeria monocytogenes*, pH, and Organoleptic on Apple Juice**. Thesis. Physics Department. Faculty of Science and Technology the State Islamic University (UIN) Maulana Malik Ibrahim Malang. Supervisors: (I) Dr. M. Tirono, M.Si, (II) Erika Rani, M. Si

Key Words: *Listeria monocytogenes*, LED , intensity, pH, Organoleptic of Apple Juice

Apples usually consume by people, which might be contaminated by pathogenic bacteria such as *Listeria monocytogenes* that causes listeriosis disease. Light Emitting Diode (LED) is very effective process in the sterilization for the foods and beverages. The aims of this research are to study the influence of LED exposure to *L. monocytogenes* bacteria growth, pH, and organoleptic (color, flavor, smell) on apple juice. The applied procedure was the apple juice contained the bacteria of *L. monocytogenes* exposed by LED with light intensity 0 mW/cm² , 50 mW/cm² , 75 mW/cm² , 100 mW/cm² , 125 mW/cm² with the duration of exposure 10 minutes , 20 minutes , 30 minutes, 40 minutes , and 50 minutes. On the control condition, amount of the active bacteria were 25,2 x10⁸ CFU/ml and pH 3,7. At intensity 50 mW/cm² during 30 minutes, the decreasing percentage of active bacteria about 32.54 % and pH 3,8. The decreasing percentage of the bacteria at 125 mW/cm² during 50 minutes was 86,51 % with the amount of the active bacteria was 3,4 x 10⁸ CFU/ml and pH 4,1. Moreover, the LED exposure does not provide a real impact on color, flavor, and smell of apple juice because of oxidation process. Therefore, the exposure of LED may resist the growing number of *L. monocytogenes* bacterium with increase intensity and duration of exposure but it does not provide the influence on pH level and organoleptic of apple juice significantly.

الملخص

رئيسة, خير.2019. تأثير التعرض للدايود الباعث للضوء (LED) على النمو البكتيري الليستيريا مونوجيتوكينيس (*Listeria monocytogenes*) ، ودرجة الحموضة (pH) ، والحسية على عصير التفاحة . البحث العلمي. قسم الفيزياء كلية العلوم والتكنولوجيا جامعة مولانا مالك ابراهيم الإسلامية الحكومية مالانج. المشرف الأول: الدكتور محمد تيرونو الماجستير، المشرفة الثاني: إيريك راني الماجستير

الكلمات المفتاحية : البكتيريا الليستيريا مونوجيتوكينيس (*Listeria monocytogenes*) ، LED ، كثافة ضوء ، درجة الحموضة (pH) ، الحسية عن عصير التفاحة

غالبًا ما يستهلك التفاح العديد من الناس ، والتي يمكن أن تكون ملوثة بالبكتيريا المسببة للأمراض ، وهي بكتيريا الليستيريا مونوجيتوكينيس (*Listeria monocytogenes*) التي يمكن أن يسبب الليستيريا (Listeriosis) لأن الانتباه عملية التعقيم أقل. الدايدود الباعث للضوء (LED) هو واحد من آلة لتعقيم دقيقة المشروبات من البكتيريا الليستيريا مونوجيتوكينيس (*L. monocytogenes*) بحفظ جودة المشروبات. يهدف هذا البحث ليعرف تأثير تعرض LED ضد النمو البكتيري الليستيريا مونوجيتوكينيس (*L. monocytogenes*) ، ودرجة الحموضة (pH) ، والحسية (لون، طعم ، رائحة) عن عصير التفاحة. و كان المنهج بهذا البحث هو عصير التفاح الذي لديه نامي بإفراط جرثوم الليستيريا مونوجيتوكينيس (*L. monocytogenes*) أن تعطى رفوف LED بكثافة ضوء 0 mW/cm^2 ، 50 mW/cm^2 ، 75 mW/cm^2 ، 100 mW/cm^2 ، 125 mW/cm^2 ومدة التعرض 10 دقيقة ، 20 دقيقة ، 30 دقيقة ، 40 دقيقة ، و 50 دقيقة . نتيجة بحث هذا عرض أن الدولة عدد البكتيريا النشطة هو 25.2×10^8 CFU/ml مع درجة الحموضة 3,7. عرض الصمام مع كثافة ضوء 50 mW/cm^2 لمدة 30 دقيقة توليد كمية البكتيريا النشطة من $16,9 \times 10^8$ CFU/ml مع نسبة مئوية انخفاض عدد جرثوم كبير مثل % 32,54 و درجة الحموضة 3,8. في إنتنسيي ضوء 125 mW/cm^2 في وقت التعرض 50 دقيقة مئوية انخفاض عدد جرثوم كبير مثل % 86، 51 مع المبلغ البكتيريا النشطة من $3,4 \times 10^8$ CFU/ml مع درجة الحموضة 4,1. لم تعرض الصمام لا توفر له تأثير كبير على لون ، طعم ، ورائحة عصير التفاح بسبب تأثيرات الأكسدة . هذا يدل على أن LED يمكن أن تمنع نمو الليستيريا مونوجيتوكينيس (*L. monocytogenes*) مع زيادة كثافة وطول التعرض ولكن لا يؤثر بشكل كبير على درجة الحموضة ومستويات الحسية من عصير التفاح.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan negara yang memiliki jumlah penduduk yang sangat banyak, sehingga kebutuhan pangan sangat diprioritaskan. Selain makanan pokok dan susu, minuman olahan yang dikemas juga termasuk dalam minuman yang sering dikonsumsi oleh masyarakat Indonesia mulai dari anak-anak hingga orang dewasa. Seiring dengan perkembangan industri makanan dan minuman di Indonesia, maka banyak produk minuman yang beredar di masyarakat.

Apel merupakan buah yang sangat sering dikonsumsi oleh masyarakat Indonesia, karena produksinya yang banyak dan kandungan buah apel yang baik bagi manusia. Indonesia merupakan negara agraris, namun masih ada buah impor yang masuk ke pasaran seperti jeruk santang dari Tiongkok, kiwi dari Selandia Baru, jeruk *sunkist* dari Australia, hingga apel dari Amerika Serikat.

Telah diketahui bahwa buah apel dapat terkontaminasi oleh bakteri patogen yaitu *Listeria monocytogenes* yang menyebabkan penyakit listeria (listeriosis). Walaupun listeriosis adalah penyakit yang jarang dilaporkan muncul namun menjadi perhatian ahli mikrobiologi karena *L. monocytogenes* merupakan salah satu penyebab penyakit yang serius dengan tingkat kematian sekitar 20-30%. Bakteri tersebut tersebar luas di alam, tahan terhadap panas, asam, dan garam. Bakteri ini dapat tumbuh pada suhu 4 °C dan membentuk biofilm (Harsoyo, 2002).

Dari kasus keracunan pangan yang terjadi di Amerika pada tahun 2014, dilaporkan jumlah yang terinfeksi sebanyak 35 orang dengan 11 orang diantaranya adalah wanita hamil, 1 janin meninggal, dan 3 orang anak-anak berusia 5-15 tahun mengalami komplikasi meningitis. Berdasarkan data *Centers for Disease Control and Prevention*, diperkirakan terdapat 1600 kasus dengan diantaranya 260 kasus kematian yang diakibatkan oleh listeriosis setiap tahun di Amerika Serikat. Tingkat insiden rata-rata listeriosis pada tahun 2013 di Amerika Serikat adalah 0,23 kasus per 100.000 individu (CDC, 2014).

Pangan secara umum bersifat mudah rusak (*perishable*), karena kadar air yang terkandung di dalamnya sebagai faktor utama penyebab kerusakan pangan itu sendiri. Semakin tinggi kadar air suatu pangan, akan semakin besar kemungkinan kerusakannya baik sebagai akibat aktivitas biologis internal (metabolisme) maupun masuknya mikroba perusak. Seperti halnya jus buah apel yang banyak mengandung air, maka terdapat kemungkinan untuk terjadi kerusakan atau pembusukan akibat bakteri. Karena pada dasarnya, makanan atau minuman tersebut harus bebas polusi pada setiap tahap produksi dan penanganan makanan, bebas dari perubahan-perubahan kimia dan fisik, dan bebas mikroba yang dapat menyebabkan penyakit atau pembusukan (Winarno, 2004). Hal ini sesuai dengan firman Allah SWT dalam al-Quran surat an-Nahl (16) ayat 114:

﴿۱۱۴﴾ فَكُلُوا مِمَّا رَزَقَكُمُ اللَّهُ حَلَالًا طَيِّبًا وَاشْكُرُوا نِعْمَتَ اللَّهِ إِنَّ كُنتُمْ إِيَّاهُ تَعْبُدُونَ

“Maka makanlah yang halal lagi baik dari rizki yang telah diberikan Allah kepadamu; dan syukurilah nikmat Allah, jika kamu hanya kepada-Nya saja menyembah” (Q.S an-Nahl [16]: 114).

Pencegahan kontaminasi pada makanan maupun minuman tergantung pada teknik pengolahan yang digunakan pada suatu produk tertentu. Jenis-jenis teknik pengolahan dan pengawetan makanan dan minuman diantaranya dengan pendinginan, pembekuan, pengemasan, pengalengan, menggunakan bahan kimia, pemanasan, fermentasi, dan teknik iradiasi. Seiring dengan kemajuan teknologi dan kehidupan manusia yang semakin sibuk maka sangat jarang dilakukan pengolahan yang hanya menggunakan bahan mentah atau alami yang kemudian diolah sendiri. Dalam keadaan demikian, minuman yang telah diolah di pabrik atau telah diawetkan banyak dimanfaatkan bagi masyarakat itu sendiri, dan bahan pengawet yang sering terdapat dalam minuman ringan adalah asam benzoat, yang apabila dikonsumsi dalam jumlah besar akan mengiritasi lambung (Cahyadi, 2008). Hal ini menjadi alasan untuk menemukan alternatif proses pengawetan pada minuman tanpa menggunakan bahan pengawet dan tidak berbahaya untuk dikonsumsi.

Secara alamiah beberapa bakteri mengakumulasi peka terhadap cahaya yang dapat menurunkan pertumbuhan bakteri. Telah diteliti bahwa penyinaran dengan spektrum panjang gelombang dan dosis energi penyinaran yang tepat menyebabkan fotoinaktivasi (penghambatan aktivitas metabolisme sel) bakteri yang mengalami reaksi fotofisika berupa interaksi cahaya dengan molekul pada proses absorpsi foton dan diikuti dengan eksitasi elektron, reaksi fotokimia dengan perubahan energi dan struktur elektron sebagai akibat dari eksitasi elektron, dan reaksi fotobiologi yang melibatkan perubahan sel organisme akibat interaksi cahaya. Mekanisme fotoinaktivasi melibatkan proses fotosensitisasi,

yaitu proses penyerapan reaksi kimia menghasilkan berbagai spesies oksigen reaktif (Astuti, 2015).

Penelitian yang telah dilaporkan oleh Astuti (2011) menunjukkan bahwa LED 430 nm berpotensi untuk inaktivasi pada bakteri *Staphylococcus epidermidis*. Dari hasil penelitian yang dilakukan, dinyatakan bahwa keberhasilan fotoinaktivasi pada bakteri ditentukan oleh kesesuaian panjang gelombang cahaya dengan spektrum serap porfirin bakteri, dan faktor penentu lainnya yaitu dosis energi penyinaran, dan disimpulkan bahwa bakteri *Staphylococcus aureus* ATCC 6538P mengakumulasi waktu dan interaksi daya-waktu penyinaran LED biru ($429,8 \pm 3,7$) berpengaruh terhadap prosentase penurunan jumlah koloni bakteri *Staphylococcus aureus* ATCC 6538P dengan waktu penyinaran 30 menit (rapat energi 135 J/cm^2). Namun, belum bisa dipastikan jika dosis dan waktu penyinaran yang sama dapat digunakan pada proses pengawetan makanan, terutama pada jus buah yang menjadi minuman yang sangat banyak dikonsumsi masyarakat Indonesia.

Berdasarkan hasil penelitian Astuti (2015), diperoleh bahwa pemaparan *Light Emitting Diode* (LED) inframerah dengan panjang gelombang 950 nm berpotensi untuk fotoinaktivasi bakteri *Bacillus subtilis*. Penelitian ini melakukan uji potensi untuk mengetahui panjang gelombang yang sesuai dengan spektrum serap fotosensitizer bakteri *Bacillus subtilis*, dan dilakukan uji optimasi untuk menentukan jarak dan waktu pemaparan yang efektif pada proses fotoinaktivasi bakteri *Bacillus subtilis* dengan variasi jarak 1,5 cm, 2 cm, dan 3 cm serta variasi waktu 5 menit, 10 menit, 15 menit dan 20 menit. Sehingga hasil paling optimal

diperoleh pada jarak pemaparan 1,5 cm dan durasi waktu pemaparan 15 menit, dengan energi sebesar 1,39 Joule mampu menghasilkan prosentase kematian bakteri sebesar 53%.

Sedangkan penelitian yang menggunakan sampel berupa mikroba pada sari buah yaitu penelitian Arinda (2015) yang menunjukkan bahwa hasil perbandingan perlakuan terbaik terdapat pada perlakuan daya lampu 60 watt dengan lama penyinaran 50 menit. Hasil perbandingan perlakuan terbaik dengan tanpa perlakuan UV dan kontrol menunjukkan bahwa sari buah salak pondoh perlakuan terbaik masih layak dikonsumsi sampai dengan 14 hari dan dari segi organoleptik sari buah salak pondoh perlakuan terbaik lebih disukai oleh panelis.

Penelitian di atas menyatakan bahwa diperlukan penelitian lebih lanjut mengenai inaktivasi bakteri pada jus buah menggunakan cahaya tampak (LED) dengan spektrum cahaya yang telah disesuaikan, dengan variasi intensitas dan lama pemaparan, serta dilakukan analisis organoleptik dan pengujian pH untuk mengetahui kualitas jus setelah diberi perlakuan. Sehingga dapat diharapkan masyarakat Indonesia dapat melakukan proses pengawetan dengan mengurangi pertumbuhan bakteri patogen pada minuman buah yang dikonsumsi dengan metode yang efektif dan aman bagi tubuh. Berdasarkan latar belakang di atas akan dilakukan penelitian dengan judul **“Pengaruh Pemaparan *Light Emitting Diode* (LED) Terhadap Pertumbuhan Bakteri *Listeria monocytogenes*, pH, dan Organoleptik pada Jus Apel”**.

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana pengaruh intensitas dan lama pemaparan *Light Emitting Diode* (LED) terhadap pertumbuhan bakteri *Listeria monocytogenes* pada jus apel?
2. Bagaimana pengaruh intensitas dan lama pemaparan *Light Emitting Diode* (LED) terhadap pH pada jus apel?
3. Bagaimana pengaruh intensitas dan lama pemaparan *Light Emitting Diode* (LED) terhadap organoleptik pada jus apel?

1.3 Tujuan Penelitian

1. Untuk mengetahui pengaruh intensitas dan lama pemaparan *Light Emitting Diode* (LED) terhadap pertumbuhan bakteri *Listeria monocytogenes* pada jus apel.
2. Untuk mengetahui pengaruh intensitas dan lama pemaparan *Light Emitting Diode* (LED) terhadap pH pada jus apel.
3. Untuk mengetahui pengaruh intensitas dan lama pemaparan *Light Emitting Diode* (LED) terhadap organoleptik pada jus apel.

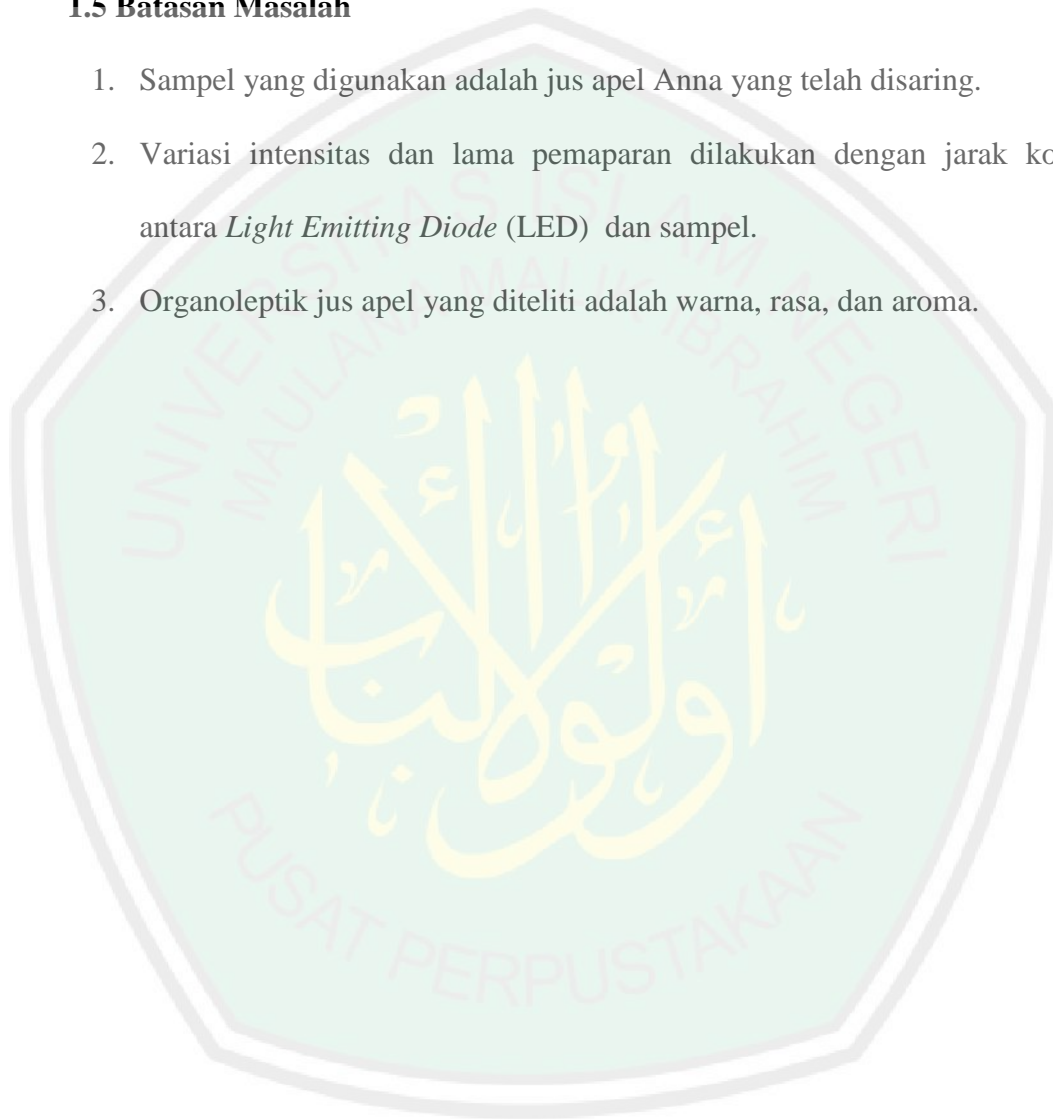
1.4 Manfaat Penelitian

1. Sebagai salah satu referensi dalam penelitian selanjutnya yaitu tentang optimasi *Light Emitting Diode* (LED) untuk inaktivasi bakteri patogen pada minuman dengan memperhatikan kualitas produk.
2. Agar masyarakat mendapatkan informasi tentang metode alternatif untuk pengawetan minuman olahan dan mengurangi pertumbuhan bakteri *Listeria*

monocytogenes pada jus apel sehingga memperkecil resiko terkena penyakit listeriosis.

1.5 Batasan Masalah

1. Sampel yang digunakan adalah jus apel Anna yang telah disaring.
2. Variasi intensitas dan lama pemaparan dilakukan dengan jarak konstan antara *Light Emitting Diode* (LED) dan sampel.
3. Organoleptik jus apel yang diteliti adalah warna, rasa, dan aroma.



BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Gelombang Elektromagnetik

2.1.1 Definisi Gelombang Elektromagnetik

Gelombang elektromagnetik adalah gelombang yang dapat merambat walaupun tidak ada medium dan terdiri dari medan listrik dan medan magnetik seperti yang diilustrasikan pada Gambar 2.1. Energi elektromagnetik merambat dalam gelombang dengan beberapa parameter yang dapat diukur, yaitu: panjang gelombang, frekuensi, amplitudo, dan kecepatan. Amplitudo adalah tinggi gelombangnya, sedangkan panjang gelombang adalah jarak antara dua puncak. Frekuensi adalah jumlah gelombang yang melalui suatu titik dalam satu satuan waktu (Harefa, 2011).



Gambar 2.1 Perambatan gelombang elektromagnetik (Harefa, 2011).

Dua komponen bergetar dalam bidang-bidang yang tegak lurus satu sama lain dan tegak lurus pada arah penjalaran radiasi. Hanya komponen listrik yang aktif dalam interaksinya dengan benda. Hingga dalam pembicaraan selanjutnya kita hanya tertuju pada komponen listrik (Sastrohamidjojo, 1991). Ukuran intensitas gelombang dinyatakan dengan kuadrat dari amplitudo gelombang.

Besarnya panjang gelombang dari gelombang elektromagnetik didefinisikan dengan persamaan (Harefa, 2011):

$$\lambda = \frac{v}{f} \quad (2.1)$$

Dengan λ adalah panjang gelombang, v adalah kecepatan gelombang, dan f adalah frekuensi gelombang.

2.1.2 Spektrum Gelombang Elektromagnetik

Spektrum cahaya atau spektrum tampak adalah bagian dari spektrum elektromagnetik yang tampak oleh mata manusia. Radiasi elektromagnetik dalam rentang panjang gelombang ini disebut cahaya. Sedangkan cahaya merupakan bentuk energi yang dikenal sebagai energi elektromagnetik yang disebut radiasi. Spektrum elektromagnetik ini dipancarkan oleh matahari secara keseluruhan melewati atmosfer bumi sedangkan radiasi elektromagnetik di luar jangkauan panjang gelombang optik atau jendela transmisi lainnya, hampir seluruhnya diserap atmosfer.

Untuk menggambarkan sifat-sifat radiasi elektromagnetik, digunakan dua teori yang saling melengkapi yaitu teori gelombang dan teori korpuskuler. Teori gelombang digunakan untuk menerangkan beberapa parameter radiasi elektromagnetik yang berupa kecepatan, frekuensi, panjang gelombang, dan amplitudo. Teori gelombang tidak dapat menerangkan fenomena-fenomena yang berkaitan dengan serapan atau emisi dari tenaga radiasi. Untuk proses ini diperlukan teori korpuskuler, yang menyatakan bahwa radiasi elektromagnetik

sebagai partikel yang bertenaga yang disebut foton. Tenaga foton berbanding langsung dengan frekuensi radiasi (Sastrohamidjojo, 1991).

Tabel 2.1 Spektrum Gelombang Elektromagnetik (PECSOK et al., 1976)

Macam Sinar	Panjang Gelombang
Sinar X	10 - 100 pkm
Ultra-violet jauh	10 - 200 nm
Ultra-violet dekat	200 - 400 nm
Sinar tampak	400 - 750 nm
Infra-merah dekat	0,75 - 2 μm
Infra-merah tengah	2,5 - 50 μm
Infra-merah jauh	50 - 1000 μm
Gelombang mikro	0,1 - 100 cm
Gelombang radio	1 - 1000 m

Segmen yang paling penting bagi kehidupan adalah pita sempit yang panjang gelombangnya berkisar antara 380 nm hingga 750 nm. Radiasi ini dikenal sebagai cahaya tampak karena terdeteksi oleh mata manusia sebagai bermacam-macam warna. (Campbell, 1999).

2.1.3 Ciri-ciri Gelombang Elektromagnetik

Adapun ciri-ciri gelombang elektromagnetik adalah (Nurwani, 2010):

1. Perubahan medan listrik dan medan magnetik terjadi pada saat yang bersamaan, sehingga kedua medan memiliki harga maksimum dan minimum pada saat yang sama dan pada tempat yang sama.
2. Arah medan listrik dan medan magnetik saling tegak lurus dan keduanya tegak lurus terhadap arah rambat gelombang.
3. Gelombang elektromagnetik merupakan gelombang transversal.

4. Seperti halnya gelombang pada umumnya, gelombang elektromagnetik mengalami peristiwa pemantulan, pembiasan, interferensi, dan difraksi, juga mengalami peristiwa polarisasi karena termasuk gelombang transversal.
5. Cepat rambat gelombang elektromagnetik hanya bergantung pada sifat-sifat listrik dan magnetik medium yang ditempuhnya.

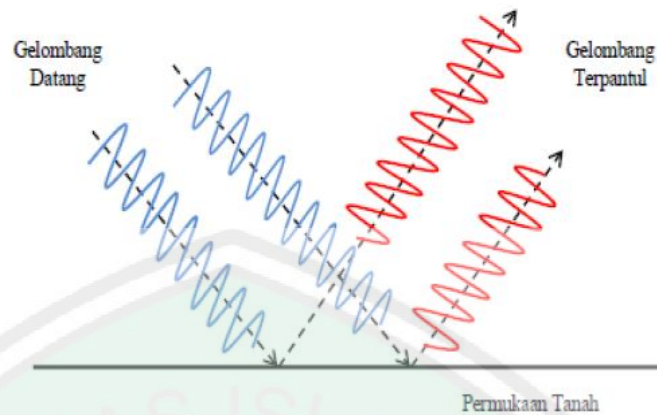
2.1.4 Mekanisme Perambatan Gelombang Elektromagnetik

Beberapa mekanisme dasar perambatan gelombang elektromagnetik, yaitu (Harefa, 2011):

1. Refleksi (Pemantulan)

Refleksi seperti yang diilustrasikan pada Gambar 2.2, terjadi ketika gelombang elektromagnetik mengenai obyek yang memiliki dimensi lebih besar dibandingkan dengan panjang gelombang sinyal dari pemancar gelombang. Refleksi terjadi pada permukaan bumi, bangunan, tembok, dan penghalang yang lain.

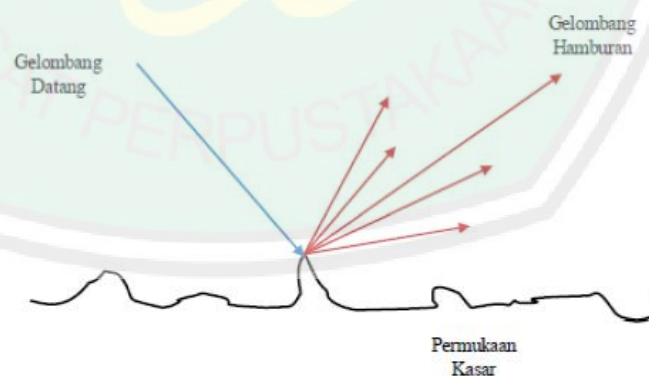
Ketika gelombang radio mengenai bahan dielektrik sempurna, sebagian dari energinya ditransmisikan ke medium kedua, dan sebagian lagi dipantulkan kembali ke medium pertama sehingga tidak ada kehilangan energi karena penyerapan. Jika medium kedua adalah konduktor yang sempurna, maka semua energinya terpantul kembali ke medium pertama tanpa kehilangan energi.



Gambar 2.2 Refleksi (Pemantulan) Gelombang Elektromagnetik
(Harefa, 2011)

2. *Scattering* (Hamburan/Penyebaran)

Scattering terjadi ketika medium dimana gelombang merambat mengandung obyek yang lebih kecil dibandingkan dengan panjang sinyal gelombang tersebut dan jumlah obyek perunit volume sangat besar. Gelombang tersebar dihasilkan dari permukaan kasar, benda kecil, atau obyek seperti tiang lampu dan pohon seperti yang diilustrasikan pada Gambar 2.3.

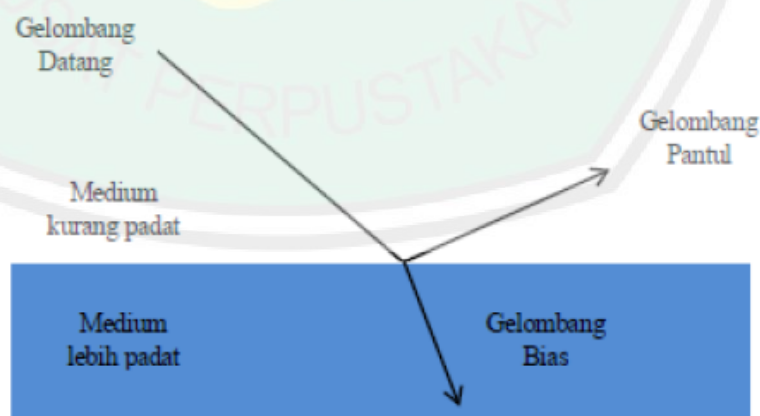


Gambar 2.3 *Scattering* (Hamburan) Gelombang Elektromagnetik
(Harefa, 2011)

3. Refraksi (Pembiasan)

Refraksi digambarkan sebagai pembelokan gelombang radio yang melewati medium yang memiliki kepadatan yang berbeda. Dalam ruang hampa udara, gelombang elektromagnetik merambat pada kecepatan sekitar 300.000 km/detik. Ini adalah nilai konstan c , yang umum disebut dengan kecepatan cahaya tetapi sebenarnya merujuk kepada kecepatan cahaya dalam ruang hampa. Dalam udara, air, gelas, dan media transparan, gelombang elektromagnetik merambat pada kecepatan yang lebih rendah dari c .

Ketika suatu gelombang elektromagnetik merambat dari satu medium ke medium lain dengan kepadatan berbeda maka kecepatannya akan berubah. Akibatnya adalah pembelokan arah gelombang pada batas kedua medium tersebut. Jika merambat dari medium yang kurang padat ke medium yang lebih padat, maka gelombang akan membelok ke arah medium yang lebih padat seperti yang diilustrasikan pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4 Refraksi (Pembiasan) Gelombang Elektromagnetik (Harefa, 2011)

4. Difraksi (Lenturan)

Difraksi terjadi ketika garis edar radio antara pengirim dan penerima dihambat oleh permukaan yang tajam atau dengan kata lain kasar seperti yang diilustrasikan pada Gambar 2.5. Pada frekuensi tinggi, difraksi, seperti halnya pada refleksi, tergantung pada ukuran objek yang menghambat dan amplitudo, fase, dan polarisasi dari gelombang pada titik difraksi.



Gambar 2.5 Difraksi (Lenturan) Gelombang Elektromagnetik (Harefa, 2011)

2.1.5 Cahaya Tampak

Cahaya tampak adalah cahaya yang dihasilkan oleh penataan ulang elektron-elektron di dalam atom-atom dan molekul-molekul. Berbagai panjang gelombang elektromagnetik dari cahaya tampak bersesuaian dengan warna-warna yang berbeda. Mulai dari merah ($\lambda=7 \times 10^{-7}$ m) sampai ungu ($\lambda=4 \times 10^{-7}$ m), kepekaan mata manusia merupakan fungsi dari panjang gelombang, yang bernilai maksimum pada panjang gelombang sekitar $5,5 \times 10^{-7}$ m (Serway, 2010).

Apabila cahaya polikromatis (cahaya putih) yang berisi seluruh spektrum panjang gelombang melewati medium tertentu, akan menyerap panjang gelombang lain, sehingga medium itu akan tampak berwarna. Oleh karena hanya panjang gelombang yang diteruskan yang sampai ke mata maka panjang gelombang inilah yang menentukan warna medium. Warna ini disebut warna komplementer terhadap warna yang diabsorpsi. Spektrum tampak dan warna-warna komplementer ditunjukkan dalam tabel 2.2 berikut ini (Khopkar, 2003):

Tabel 2.2 Spektrum Cahaya Tampak dan Warna-Warna Komplementer (Khopkar, 2003)

Panjang Gelombang (nm)	Warna yang diabsorpsi	Warna Komplementer
390 – 455	Ungu	Kuning-Hijau
455 – 492	Biru	Kuning
492 – 577	Hijau	Violet
577 – 597	Kuning	Biru
597 – 622	Jingga	Hijau-Biru
622 – 780	Merah	Biru-Hijau

2.1.6 Light Emitting Diode (LED)

Sumber cahaya seperti lampu *filament wolfram*, lampu fluoresen dan lampu neon biasanya dirancang untuk menghasilkan cahaya. Emitter cahaya semikonduktor adalah alat yang sambungan p n yang mengeluarkan cahaya kalau dibiaskan dalam arah biasa, yaitu positif ke jenis p (anoda). Alat ini disebut LED (diode penghasil cahaya). Karena LED merupakan diode dengan sambungan p n, karakteristik elektrisnya sama dengan diode normal, yaitu mengkonduksi arus bila dibiaskan dalam arah biasa dan menyekat aliran arus

jika dibiaskan dalam arah terbalik, tetapi juga menghasilkan energi cahaya (dalam bentuk foton) secara efisien kalau dibiaskan dalam arah biasa (Woollard, 2006).

Emitter cahaya semikonduktor dibuat dalam berbagai ukuran panjang gelombang, sehingga secara teoritis dapat diberi berbagai tanda warna. Dalam kenyataannya, biasanya warna di pabrik terbatas dalam reaksi spektrum silikon, *gallium arsenide*, *gallium fosfida* dan *gallium arsanida* (Woollard, 2006).

LED merupakan semikonduktor kompleks yang dapat mengkonversi energi listrik menjadi cahaya. LED termasuk sumber cahaya dengan rentang spektrum absorpsi porfirin tipe fotosensitizer. Kelebihan LED dibandingkan dengan sumber cahaya lain untuk fotoaktivasi adalah karena hanya menghasilkan sejumlah kecil panas dalam cahaya yang ditimbulkan. LED menghasilkan cahaya dengan berbagai warna. Warna cahaya yang diemisikan oleh LED bergantung pada komposisi material semikonduktor yang digunakan, baik inframerah, cahaya tampak maupun ultraviolet (Schubert, 2006).

Light Emitting Diode (LED) adalah suatu semikonduktor yang memancarkan cahaya monokromatik atau bisa diartikan sebagai diode yang memancarkan cahaya bila dialirkan arus listrik. Semikonduktor adalah material yang dapat bertindak sebagai konduktor (pengantar arus listrik) dan isolator (penahan arus listrik). Lampu LED memancarkan cahaya semata-mata oleh pergerakan elektron pada material. Lampu LED terdiri dari bahan atau material semikonduktor yang memancarkan gelombang cahaya yang dapat dilihat oleh mata manusia dan memancarkannya dalam jumlah besar. Bahan semikonduktor

dibungkus dalam plastik sehingga mengkonsentrasikan cahaya yang dihasilkan pada arah tertentu. Bahan plastik penutup dapat juga diberi warna, namun hal ini hanya untuk estetika dan memperkuat tampilan warna yang dihasilkan. Pewarnaan plastik ini tidak berpengaruh pada gelombang warna yang dihasilkan bergantung pada bahan semikonduktor yang dipakai (Kurniawati, 2010).

2.1.7 Energi yang Dibawa oleh Gelombang Elektromagnetik

Gelombang membawa energi dari satu tempat ke tempat lain. Sementara gelombang merambat melalui medium, energi dipindahkan sebagai energi getaran dari partikel ke partikel pada medium tersebut. Sehingga setiap partikel mempunyai energi:

$$E = \frac{1}{2} KA^2 \quad (2.2)$$

Dimana:

A = Amplitudo gerak (baik secara transversal atau longitudinal)

Energi yang dibawa gelombang sebanding dengan kuadrat amplitudo. Intensitas I sebuah gelombang didefinisikan sebagai daya (energi persatuan waktu) yang dibawa melintasi daerah yang tegak lurus terhadap aliran energi:

$$I = \frac{\text{energi/waktu}}{\text{luas}} = \frac{\text{daya}}{\text{luas}} = \frac{P}{4\pi r^2} \quad (2.3)$$

Dimana:

P = Daya (W/m)

Jika keluaran daya P dari sumber konstan, maka intensitas berkurang sebagai kebalikan dari kuadrat jarak dari sumber:

$$I = \frac{1}{r^2} \quad (2.4)$$

Jika diambil dua titik dengan jarak r_1 dan r_2 dari sumber, maka:

$$I_1 = \frac{P}{4\pi r_1^2} \quad (2.5)$$

$$I_2 = \frac{P}{4\pi r_2^2} \quad (2.6)$$

$$\frac{I_2}{I_1} = \frac{r_1^2}{r_2^2} \quad (2.7)$$

2.2 Apel

Kabupaten Malang khususnya Batu (Jawa Timur) merupakan salah satu sentral produksi apel di Indonesia. Di daerah tersebut tanaman apel mulai diusahakan petani sejak tahun 1950, dan pada tahun 1960 tanaman ini mulai berkembang pesat sejak ditemukannya teknik budidaya dan pembuahan apel. Selain Batu (Jawa Timur), daerah-daerah yang banyak ditanami apel antara lain kayu mas (Situbondo Jawa Timur), Tawangmangu (Jawa Tengah), Nongkojajar (Pasuruan-Jawa Timur) (Soelarso, 1997).

Soelarso (1997) menyatakan bahwa apel mempunyai bahasa latin (*Malus sylvestris mill*), merupakan tanaman tahunan yang berasal dari daerah subtropis. Di Indonesia apel telah ditanam sejak tahun 1934, dan dapat berbuah dengan baik. Apel diketahui mengandung beberapa vitamin dan mineral yang bermanfaat bagi manusia setiap 100 gram daging buah apel segar yang berdiameter 5-7 cm banyak mengandung gizi antara lain kalsium, fosfor, besi, kalium, karbohidrat, lemak, protein, *niacin*, *riboflavin*, vitamin A, vitamin B1, vitamin B2, dan vitamin C.

Buah apel pada umumnya dikonsumsi sebagai buah segar, tetapi buah apel termasuk jenis buah yang mudah rusak seperti mudah menjadi lunak (melepuh

karena sinar matahari dan memar) bercak-bercak dan mudah busuk sehingga perlu adanya penanganan pascapanen yang sederhana (sortasi, *grading*, pengepakan, dan penyimpanan dalam gudang) maka tingkat kerusakannya cukup tinggi. Untuk mengatasi hal tersebut dapat dilakukan dengan pengolahan buah segar menjadi produk olahan seperti merupakan jenang, jeli, sari buah, selai, buah kalengan, keripik dan cuka apel (Pantastico, 1989). Dan jus apel merupakan salah satu minuman buah yang sering dikonsumsi oleh masyarakat, sehingga menjadi minuman olahan yang perlu diperhatikan kontaminasi bakteri yang terjadi.

2.3 Bakteri

2.3.1 Definisi Bakteri

Nama bakteri berasal dari Bahasa Yunani "*bacterion*" yang berarti batang atau tongkat. Sekarang nama itu dipakai untuk menyebut sekelompok mikroorganisme bersel satu, tubuhnya bersifat prokariotik yaitu tubuhnya terdiri atas sel yang tidak mempunyai pembungkus inti. Bakteri begitu kecil maka hanya dapat dilihat dengan menggunakan mikroskop. Bakteri adalah yang paling berkelebihan dari semua organisme. Mereka tersebar (berada di mana-mana) di tanah, air dan sebagai simbiosis dari organisme lain. Banyak patogen merupakan bakteri (Pratiwi, 2008).

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 plastid khusus yaitu zat warna pada membran, tidak memiliki organel berselaput,

mitokondria, lisosom, badan golgi dan *reticulum endoplasma* (RE), nukleus, dan *nukleoplasma* (Jawetz, 1995).

2.3.2 Struktur Bakteri

1. Dinding sel

Dinding sel tersebut terdiri dari berbagai bentuk dan ukuran. Dinding sel ini berfungsi sebagai pertahanan bakteri agar dapat bertahan hidup dalam lingkungannya serta mempertahankan tekanan osmotik bakteri. Isi sel berupa protoplasma dan membran plasma (Jawetz, 1995).

2. Membran plasma

Membran plasma adalah protoplasma yang menjaga isi sel dan memisahkan isi sel dengan lingkungan luar sel. Membran plasma bersifat selektif permeabel. Membran plasma memiliki sifat-sifat hidrofobik di bagian tengah dan sifat hidrofilik di permukaan luar maupun permukaan sistolik. Membran plasma terdiri dari senyawa-senyawa lipida, protein, karbohidrat, enzim dan ion. Komponen kimiawi yang terlihat secara morfologis adalah karbohidrat, protein, dan lipida.

Membran plasma merupakan batas kehidupan, batas yang memisahkan sel hidup dari sekelilingnya yang mati. Berdasarkan dari komposisi kimia membran dan permeabilitasnya terhadap solut maka dapat disimpulkan bahwa membran sel terdiri atas lipid dan protein. Tiga macam lipida polar yang utama adalah fosfolipida, glukolipida dan sedikit sulfolipida. Pada lipida polar, asam lemak yang hidrofobik berorientasi ke bagian dalam membran. Variasi antara panjang dan ketidakjenuhan (jumlah ikatan

rangkap) dari rantai asam lemak berpengaruh terhadap titik cair. Membran sel terdiri atas dua lapis molekul fosfolipid. Bagian ekor dengan asam lemak yang bersifat hidrofobik (non polar), kedua lapis molekul tersebut saling berorientasi ke dalam, sedangkan bagian kepala bersifat hidrofilik (polar), mengarah ke lingkungan yang berair. Pada membran terdapat lapisan ganda dan molekul-molekul fosfolipid yang letaknya teratur sedemikian rupa sehingga jujung karbon yang hidrofobik terbungkus sedemikian rupa di dalam sebuah lapisan amorf dalam senyawa lipid (Jawetz, 1995).

Adanya sifat hidrofobik di bagian tengah lapisan lipid membran plasma menyebabkan membran tersebut tidak mudah di tembus oleh molekul polar, sehingga membran sel mencegah keluarnya komponen-komponen dalam sel yang larut dalam air. Namun, sel juga memerlukan bahan-bahan nutrisi dan membuang limbahnya ke luar sel. Untuk memenuhi kebutuhan ini, sel harus mengembangkan suatu sistem atau mekanisme khusus untuk transport melintasi membran sel (Subowo, 1995).

Membran plasma memiliki permeabilitas selektif, yakni membran ini memungkinkan beberapa substansi dapat melintasnya dengannya lebih mudah dari pada substansi yang lainnya. Kemampuan sel untuk membedakan pertukaran kimiawinya ini dengan lingkungannya merupakan hal yang mendasar bagi kehidupan, dan membran plasma inilah yang membuat keselektifan ini bisa terjadi (Champbell, 1999).

Adapun fungsi membran sel adalah (Anonim, 2010):

- a. Mengatur permeabilitas terhadap senyawa-senyawa atau ion-ion yang melewatinya permeabilitas ini terutama diatur oleh protein integral.
- b. Protein selaput yang berfungsi sebagai protein pengenal atau sebagai reseptor molekul-molekul khusus (hormon, antigen, metabolit) dan agensi khas (bakteri dan virus).
- c. Protein selaput berfungsi sebagai enzim khusus misalnya pada selaput mitokondria, kloroplas, retikulum endoplasma, aparatus golgi, selaput sel, dan lain-lain.
- d. Selaput sebagai kelompok molekul juga berfungsi sebagai reseptor terhadap perubahan lingkungan seperti perubahan suhu, macam dan intensitas cahaya.

3. Sitoplasma (Cairan Sel)

Di dalam sitoplasma terdapat beberapa komponen dasar, yaitu (Campbell, 1999):

a. Materi Inti

Pada komponen ini biasanya terdiri dari DNA dan RNA. Materi inti terlihat sebagai jaring dari DNA yang tidak teratur.

b. Ribosom

Ribosom adalah salah satu organel yang berukuran kecil dan padat dalam sel yang berfungsi sebagai tempat sintesis protein. Ribosom berdiameter sekitar 20 nm serta terdiri atas 65% RNA ribosom dan 35% protein ribosom.

c. Granula Sitoplasma

Granula berfungsi sebagai tempat penyimpanan cadangan makanan karena bakteri menyimpan makanan yang dibutuhkan.

d. Plasmid

Plasmid merupakan sebuah ekstrakromosomal DNA terintegrasi dalam kromosom edaran.

2.3.3 Pertumbuhan dan Perkembangan Bakteri

Pertumbuhan merupakan proses bertambahnya ukuran atau substansi atau massa zat suatu organisme. Pada organisme bersel satu pertumbuhan lebih diartikan sebagai pertumbuhan koloni yaitu pertambahan jumlah koloni, ukuran koloni yang semakin besar atau substansi atau massa mikroba dalam koloni tersebut semakin banyak. Pertumbuhan pada mikroorganisme lebih ditunjukkan oleh adanya peningkatan jumlah mikroorganisme dan bukan peningkatan ukuran sel individu (Pratiwi, 2008).

Pertumbuhan bakteri pada umumnya akan dipengaruhi oleh faktor-faktor tertentu. Faktor-faktor yang mempengaruhi pertumbuhan bakteri atau kondisi untuk pertumbuhan optimum adalah (Anonim, 2010):

1. Suhu

Berdasarkan kisaran suhu aktivitasnya, bakteri dibagi menjadi 3 golongan:

- a. Bakteri *psikrofil*, yaitu bakteri yang hidup pada daerah suhu antara 0-30 °C, dengan suhu optimum 15 °C.
- b. Bakteri *mesofil*, yaitu bakteri yang hidup di daerah suhu antara 15-55 °C, dengan suhu optimum 25-40 °C.

- c. Bakteri *termofil*, yaitu bakteri yang dapat hidup di daerah suhu tinggi antara 40-75 °C, dengan suhu optimum 50-65 °C.

2. Kelembapan

Pada umumnya bakteri memerlukan kelembapan yang cukup tinggi, kira-kira 85%. Pengurangan kadar air dari protoplasma menyebabkan kegiatan metabolisme terhenti, misalnya pada proses pembekuan dan pengeringan.

3. Cahaya

Cahaya sangat berpengaruh pada proses pertumbuhan bakteri. Umumnya cahaya merusak sel mikroorganisme yang tidak berklorofil. Sinar ultraviolet dapat menyebabkan terjadinya ionisasi komponen sel yang berakibat menghambat pertumbuhan atau menyebabkan kematian. Pengaruh cahaya terhadap bakteri dapat digunakan sebagai dasar sterilisasi atau pengawetan bahan makanan.

2.3.4 Kerusakan Membran Sel

Membran sel akan mengalami kerusakan jika diberikan perlakuan suhu yang ekstrim, semakin tinggi suhu yang diberikan, maka kerusakan pada membran akan semakin parah karena membran sel tidak tahan terhadap keadaan yang terlalu panas ataupun terlalu dingin. Perlakuan panas terhadap permeabilitas membran mengakibatkan kerusakan protein jika suhu lebih dari 600 °C yang juga akan mengakibatkan kerusakan dinding sel sehingga dapat mengeluarkan pigmen lebih banyak akibat dari denaturasi pada protein. Pengaruh permeabilitas membran berbeda-beda untuk setiap perlakuan panas, perlakuan dingin, dan perlakuan dengan senyawa kimia. Perlakuan pembekuan

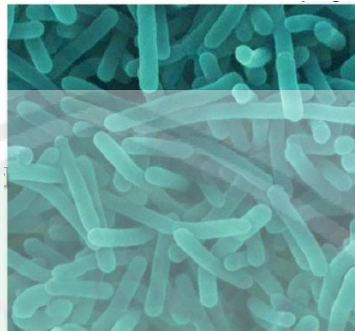
permeabilitas mengakibatkan kerusakan fosfolipid dan protein yang membentuk kristal tajam yang dapat merusak dinding sel sehingga mengeluarkan pigmen lebih banyak dari pada perlakuan panas (Subowo, 1995).

Proses nekrosis diawali dengan kerusakan membran yakni proses pelepasan membran sel. Tingkat keparahan kerusakan membran ini juga merusak lisosom sehingga membuat organel pencernaan tersebut mengeluarkan enzimnya ke dalam cairan sel (sitoplasma). Sehingga seluruh organel dan komponen sel “dikunyah” oleh enzim tersebut. Sedangkan proses *apoptosis* adalah kebalikannya, kerusakan justru berawal dari satuan terkecilnya yaitu kerusakan DNA dan larutnya inti sel. Selanjutnya sel tersebut terpecah menjadi pigmen-pigmen kecil dan mengalami *fagositosis* (Subowo, 1995).

Zat terlarut ada yang dapat melewati membran, dan ada yang tidak, tergantung pada sifat membran yang dilaluinya. Hubungan sifat-sifat molekul hidrofilik dan hidrofobik dengan permeabilitas membran adalah molekul hidrofilik merupakan molekul yang suka terhadap air dan bersifat polar sehingga dalam hal ini adalah metanol dan aquades serta molekul-molekul lain yang tidak bermuatan akan lebih mudah masuk ke dalam sel melalui membran. Sedangkan molekul hidrofobik adalah molekul yang tidak suka air dan bersifat non polar dalam hal ini adalah aseton dan benzene sehingga sukar melewati membran. Sifat molekul hidrofilik dan hidrofobik sangat berpengaruh dalam permeabilitas membran sehingga membran bersifat lebih selektif. Molekul hidrofilik dan hidrofobik berfungsi sebagai gerbang dan sebagai pompa (Subowo, 1995).

2.4 Bakteri *Listeria monocytogenes*

2.4.1 Klasifikasi Bakteri *Listeria monocytogenes*



Gambar 2.6 Bakteri *Listeria monocytogenes* (CDC, 2014)

Kingdom : Bacteria

Phyllum : Firmicutes

Classis : Bacilli

Ordo : Bacillales

Familia : Listeriaceae

Genus : Listeria

Species : *Listeria monocytogenes*

2.4.2 Karakteristik dan Morfologi Bakteri *Listeria monocytogenes*

Organisme ini merupakan basilus gram positif *anaerob* fakultatif, tidak membentuk spora, dan motil, yang dapat tumbuh pada suhu rendah (4-10 °C). *Listeria monocytogenes* berhubungan dengan penyakit manusia. *Listeria monocytogenes* ditemukan di tanah atau bahan makanan yang terkontaminasi dengan feses hewan. Kontaminasi silang dari produk makanan dapat terjadi. Infeksi terjadi setelah mengonsumsi makanan yang terkontaminasi (Irianto, 2013).

Bakteri *Listeria monocytogenes* diklasifikasikan sebagai bakteri gram positif, dan bergerak dengan menggunakan flagella. Penelitian menunjukkan bahwa 1-10% manusia mungkin memiliki *Listeria monocytogenes* di dalam ususnya (Amalia, 2015).

Sumber lain menyatakan bahwa bakteri *Listeria* merupakan bakteri gram positif yang dapat tumbuh baik di tempat *aerob* (dengan adanya oksigen) maupun *anaerob* (tanpa adanya oksigen). Terdistribusi luas di lingkungan seperti tanah, air, dan di tempat pakan ternak yang terbuat dari daun-daunan yang difermentasi. Bakteri ini tahan terhadap pembekuan sehingga masih dapat berduplikasi di suhu dingin seperti di lemari pendingin (suhu 4-10 °C). Bakteri *L. monocytogenes* dapat tumbuh pada kisaran suhu -0,4-45 °C dengan suhu tumbuh optimal 37 °C. Pengaruh beku terhadap *L. monocytogenes* bergantung pada kondisi produk dan kemasan. Hal ini juga dibuktikan bahwa *L. monocytogenes* dapat memiliki kemampuan bertahan pada suhu -20 °C (Beverly, 2004).

2.4.3 Penyakit yang Disebabkan Bakteri *Listeria monocytogenes*

Listeriosis merupakan penyakit yang disebabkan oleh infeksi bakteri *Listeria monocytogenes*. Gejala Listeriosis dapat muncul kapan saja antara 3-70 hari pasca infeksi bakteri *Listeria*, rata-rata biasanya sekitar 21 hari. Gejala umumnya, yaitu demam, nyeri otot, disertai mual atau diare (kurang umum) (Amalia, 2015).

Sumber listeriosis yang potensial adalah makanan siap santap seperti produk daging dan susu yang tidak dipasteurisasi yang disimpan dalam waktu

lama pada suhu 4 °C. Kadang-kadang *L. monocytogenes* dapat juga ditemukan dalam produk makanan yang sudah diolah. Kontaminasi *L. monocytogenes* pasca pengolahan makanan merupakan titik kritis untuk kesehatan manusia. Oleh karena itu, perlu adanya pengetahuan yang cukup agar pencegahan terhadap penyebaran bakteri *L.monocytogenes* di lingkungan atau kontaminan pada produk makanan asal ternak dan produk olahannya dapat dilakukan dengan tepat. Selain itu, diperlukan teknik deteksi yang cepat dan akurat terhadap keberadaan *L. monocytogenes* pada makanan agar terapi pada penderita dapat segera dilakukan (Ariyanti, 2010).

Menurut Esteban *et al.*, (2009) dalam Ariyanti (2010) listeriosis pada manusia yang sehat, umumnya hanya menunjukkan gejala yang sangat ringan seperti demam, kelelahan, mual, muntah dan diare. Apabila listeriosis tidak diobati, maka gejala dapat berkembang menjadi meningitis dan *bakteremia*. Pada wanita hamil dapat mengalami *flu-like syndrome* dengan komplikasi keguguran, bayi yang dilahirkan meninggal atau terjadi meningitis pada bayi yang dikandungnya. *Flu-like syndrome* terjadi 12 jam setelah mengkonsumsi makanan terkontaminasi dengan masa inkubasi 1-6 minggu. Pada anak-anak, orang tua dan orang dewasa dengan sistem kekebalan yang lemah, bakteri dapat menyerang sistem syaraf pusat dan masuk dalam sirkulasi darah, sehingga menyebabkan pneumonia.

2.5 Interaksi Radiasi Elektromagnetik dengan Bahan

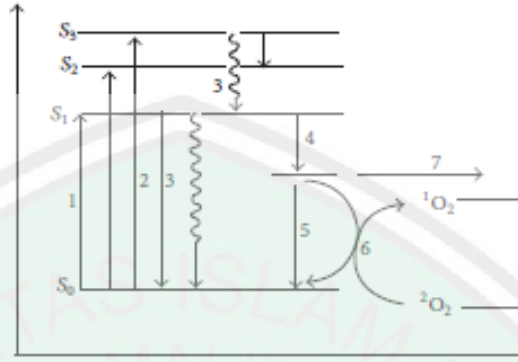
Ketika cahaya jatuh pada senyawa, maka sebagian dari cahaya diserap oleh molekul-molekul sesuai dengan struktur molekul, dan setiap senyawa mempunyai tingkatan tenaga yang spesifik. Bila cahaya mempunyai tenaga yang sama dengan perbedaan tenaga antara tingkatan dasar (G) dan tenaga tingkatan tereksitasi (E_1, E_2, \dots) jatuh pada senyawa, maka elektron-elektron pada tingkatan dasar (G) dieksitasikan ke tingkatan tereksitasi dan sebagian tenaga cahaya yang sesuai dengan panjang gelombang ini diserap. Elektron yang tereksitasikan melepaskan tenaga dengan proses radiasi panas dan kembali ke tingkatan dasar (G) asal (Sastrohamidjojo, 1991).

2.6 Interaksi Cahaya Terhadap Sel Bakteri

Kerusakan sel bakteri pada proses fotoinaktivasi didasarkan pada dua mekanisme, yaitu kerusakan DNA dan kerusakan membran sitoplasma. Penyinaran cahaya yang diserap oleh *fotosensitizer* akan memecah struktur DNA menjadi *double-strained* DNA, sehingga dapat menimbulkan kerusakan. Selain itu, fotoinaktivasi juga dapat mengakibatkan kebocoran sel atau inaktivasi sistem transport membran dan sistem enzim membran pada bakteri tersebut (Hamblin dan Hasan, 2003) dalam Astuti (2015).

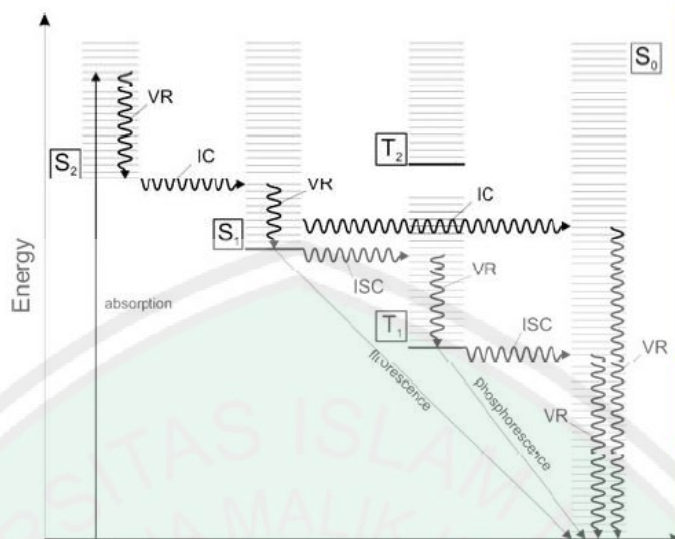
Fenomena fisis yang terjadi pada proses fotoinaktivasi meliputi 3 tiga tahap, yaitu tahap fotofisika, berupa interaksi cahaya dengan molekul porfirin pada proses absorpsi foton dan diikuti dengan eksitasi elektron. Pada tahap fotokimia, terjadi perubahan energi dan struktur elektron sebagai akibat dari eksitasi elektron.

Sedangkan tahap fotobiologi, melibatkan perubahan sel organisme akibat interaksi cahaya (Grossweiner,2005) dalam Astuti (2015).



Gambar 2.7 Mekanisme Cahaya Terhadap Sel Bakteri (Astuti, 2011)

Mekanisme *Photodynamic Terapi* (PDT) mempunyai berbagai macam proses. Pada gambar 2.7 menggambarkan terjadinya interaksi cahaya terhadap sel bakteri. Cahaya yang dipancarkan akan diserap oleh elektron (molekul) untuk membangkitkan dalam keadaan pertama dan kemudian sistem dalam memotong pada keadaan triplet. Dalam proses ini, fluoresensi diserap dari keadaan pertama ke keadaan dasar dan energi bisa dihilangkan melalui kerusakan bukan radiasi. Dari keadaan triplet, energi yang hilang akan menghasilkan pancaran sinar atau radiasi fosforesensi dengan waktu hidup yang lama (mikrodetik), kemudian energi tersebut dilanjutkan kepada oksigen terdekat untuk menghasilkan jenis reaksi oksigen dan sebagian dari energi yang lain akan mengalami proses efek fotokimia, dimana dalam proses fotokimia tersebut membran sel akan membengkak dan setelah itu pecah (Astuti, 2011).



Gambar 2.8 Mekanisme Fotofisika. S_0 adalah keadaan *ground state*. $S_1 \dots S_n$ adalah keadaan singlet ditandai dengan spin berpasangan, $T_1 \dots T_n$ adalah keadaan triplet ditandai spin elektron tidak berpasangan, tingkat vibrasi ditunjukkan oleh garis horisontal, transisi non radiatif oleh panah bergelombang, yang terdiri atas *vibrational relaxation* (VR), *internal conversion* (IC), panah ke bawah menunjukkan transisi radiatif (Astuti, 2011)

Gambar 2.8 menunjukkan mekanisme fotofisika yang menginisiasi terjadinya mekanisme fotokimia menghasilkan berbagai spesies oksigen reaktif yang menyebabkan fotoinaktivasi pada bakteri. Absorpsi radiasi oleh molekul akan mengeksitasi molekul tersebut dari tingkat vibrasional dalam keadaan dasar singlet elektronik S_0 ke salah satu tingkat vibrasional dalam keadaan eksitasi elektronik. Eksitasi molekul menuju keadaan energi yang lebih tinggi ini cenderung kembali ke keadaan dasar, baik melalui reaksi kimia atau berubah menjadi panas yang dilepas ke lingkungan dalam proses *internal conversion* atau *vibrational relaxation* (Astuti, 2011).

Spin sebuah elektron yang tereksitasi singlet S_n dapat terbalik, meninggalkan molekul pada keadaan eksitasi triplet T_n , yang disebut dengan

intersystem crossing. Probabilitas terjadinya *intersystem crossing* meningkat jika tingkat vibrasional singlet terendah mengalami *overlap* dengan satu dari tingkat vibrasional yang lebih tinggi dari keadaan triplet. Sebuah molekul pada tingkat vibrasional tinggi dari keadaan eksitasi triplet dapat kehilangan energi saat bertumbukan dengan molekul lain, meninggalkannya pada tingkat vibrasional paling rendah dari keadaan triplet, dan selanjutnya molekul dapat mengalami *intersystem crossing* kedua pada tingkat vibrasional yang lebih rendah. Molekul tersebut akhirnya kembali ke tingkat vibrasional paling rendah dari keadaan dasar elektronik S_0 oleh relaksasi vibrasi (Astuti, 2011).

Molekul pada keadaan eksitasi triplet tidak selalu kembali ke keadaan dasar melalui *intersystem crossing* tetapi dapat kehilangan energi melalui emisi sebuah foton. Emisi dari transisi triplet-singlet disebut fosforesensi. Emisi pada eksitasi triplet terjadi ketika satu foton yang memiliki energi sebanding dengan energi dari dua keadaan elektronik berinteraksi dengan sebuah atom atau molekul yang tereksitasi. Pada keadaan eksitasi triplet ini, molekul tidak langsung menuju ke keadaan dasar (*ground state*), sehingga memiliki waktu hidup yang cukup lama (sekitar 10^{-2} – 10^2 detik). Molekul ini selanjutnya mentransfer energinya ke molekul oksigen (reaksi fotokimia) menyebabkan perpindahan molekul oksigen dari eksitasi triplet ke eksitasi singlet di atas *ground state* (Astuti, 2011).

Fotokimia merupakan perubahan kimia yang disebabkan oleh cahaya dan terjadi apabila diabsorpsi oleh sistem. Perubahan kimia merupakan peristiwa yang muncul pada tingkatan molekuler akibat absorpsi oleh foton. Proses fotokimia memiliki kaitan yang erat dengan proses fotofisika, yang berperan dalam

perubahan energi dan struktur elektron akibat eksitasi molekul setelah peristiwa absorpsi. Reaksi fotokimia terjadi pada keadaan triplet tereksitasi (Astuti, 2011).

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

1. Molekul yang tereksitasi secara optis bereaksi secara langsung dengan substrat seperti membran sel atau molekul, dan mentransfer sebuah proton atau elektron membentuk anion atau kation radikal. Radikal ini akan bereaksi dengan oksigen menghasilkan oksigen reaktif (ROS). Superoksida anion yang terbentuk akan bereaksi dengan substrat menghasilkan hidrogen peroksida (H_2O_2). Pada konsentrasi tinggi hidrogen peroksida bereaksi dengan superoksida anion membentuk hidroksil radikal (reaksi *Haber Weiss*) yang dengan mudah berdifusi melalui membran dan merusak sel.
2. Keadaan triplet dapat mentransfer energinya secara langsung pada molekul oksigen yang berada pada keadaan eksitasi triplet membentuk oksigen singlet ($^1\text{O}_2$) tereksitasi. Pada keadaan dasar, kebanyakan molekul organik memiliki semua pasangan spin elektron. Selama transisi elektronik, ketika elektron mengalami eksitasi ke tingkat energi yang lebih tinggi, elektron menjadi orbital yang tidak berpasangan. Spin mereka diorientasikan dalam bentuk anti paralel atau paralel yang lain.

BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini akan dilakukan pada bulan Maret 2017 di Laboratorium Elektronika Jurusan Fisika dan Laboratorium Mikrobiologi Jurusan Biologi Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.

3.2 Alat dan Bahan Penelitian

3.2.1 Alat-alat

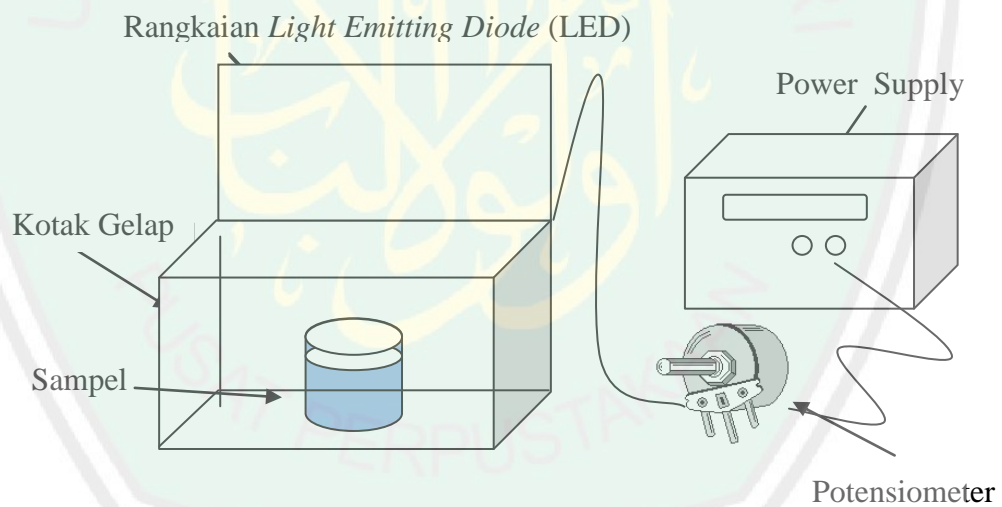
1. Power Suplly
2. Seperangkat *Light Emitting Diode* (LED) Ungu
3. Potensiometer
4. Kabel penghubung
5. Voltmeter
6. Lux meter
7. Solder
8. pH meter
9. Erlenmeyer 250 ml 4 buah
10. Tabung reaksi 10 buah
11. Rak tabung reaksi 1 buah
12. LAF (*Laminar Air Flow*) 1 unit
13. Bunsen 1 buah

14. Kotak Gelap
15. Kertas
16. Kapas 1 pack
17. Tisu 1 pack
18. Botol Media 16 buah
19. Autoklaf 1 buah
20. Cawan petri 36 buah
21. Pengaduk kaca 1 buah
22. Inkubator 1 buah
23. Plastik wrap 1 pack
24. Gelas ukur 50 ml 1 buah
25. Spertus
26. Beaker glass 500 ml buah
27. Plastik bungkus 1 pack
28. Micropipet 1 buah
29. Jarum ose 1 buah
30. Botol flakon berukuran 20 ml 150 buah
31. Timbangan analitik 1 buah
32. Stopwatch 1 buah
33. Spatula
34. *Hand counter*
35. *Hot Plate*
36. Aluminium foil

3.2.2 Bahan-bahan

1. Bakteri *Listeria monocytogenes*
2. Jus apel
3. Media NA (*Nutrien Agar*)
4. Media NB (*Nutrien Borth*)
5. Media PCA (*Plate Count Agar*)
6. Aquades 70 %
7. Alkohol 70 %

3.3 Desain Rangkaian



Gambar 3.1 Desain Rangkaian Perlakuan Bakteri *Listeria monocytogenes*

Rangkaian penelitian menggunakan cahaya tampak yang dihasilkan oleh *Light Emitting Diode* (LED) berdiameter 5 mm yang disusun dengan jarak antar *Light Emitting Diode* (LED) adalah 2 cm pada PCB (*Printed Circuit Board*), dan diatur jarak antara sampel dan *Light Emitting Diode* (LED) adalah 5 cm di dalam

kotak yang tidak dapat menerima cahaya dari luar. Cara kerja rangkaian alat penelitian adalah tegangan dari power supply melewati potensiometer yang berfungsi untuk mengatur besar hambatan (nilai resistansi). Apabila potensiometer diputar ke kanan maka hambatan diperbesar dan menghasilkan arus yang kecil, sehingga dihasilkan intensitas rendah atau cahaya yang redup. Sedangkan apabila potensiometer diputar ke kiri maka hambatan diperkecil dan menghasilkan arus yang besar, sehingga dihasilkan intensitas yang lebih tinggi atau cahaya terang. Intensitas cahaya diukur dengan menggunakan lux meter.

3.4 Prosedur Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimen laboratoris dengan rancangan acak lengkap pola faktorial *pre test-post test control group design* yaitu dengan menyediakan kelompok kontrol dan kelompok perlakuan. Metode pemaparan bakteri dilakukan dengan dua tahap uji. Tahap uji potensi bertujuan untuk mengetahui panjang gelombang *Light Emitting Diode* (LED) yang sesuai dengan spektrum serap porfirin bakteri *Listeria monocytogenes*, dengan pengujian menggunakan spektrofotometer UV-Vis dihasilkan panjang gelombang 403 nm sehingga pemaparan menggunakan *Light Emitting Diode* (LED) berwarna ungu. Sedangkan tahap uji optimasi bertujuan untuk mengetahui intensitas dan waktu pemaparan yang paling optimal untuk inaktivasi bakteri *Listeria monocytogenes*.

Adapun langkah-langkah dalam penelitian ini adalah:

3.4.1 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 inci*) selama 15 menit. Untuk alat yang tidak tahan panas tinggi disterilisasi dengan zat kimia berupa alkohol 70%. Sampel berupa jus apel juga disterilisasi sebelum ditumbuhi bakteri *Listeria monocytogenes*.

3.4.2 Pembuatan Media NA (*Nutrien Agar*)

1. Media NA ditimbang sebanyak 5 gram kemudian ditambahkan aquades sebanyak 250 ml dan dipanaskan di atas hot plate sampai homogen.
2. Media NA yang sudah homogen dimasukkan ke dalam tabung reaksi sebanyak 5 ml dan sisanya dimasukkan ke dalam tabung erlenmeyer kemudian ditutup dengan kapas.
3. Media NA disterilisasi dalam autoklaf.
4. Media NA dimasukkan ke dalam tabung reaksi kemudian dimiringkan.

3.4.3 Pembuatan Media NB (*Nutrien Broth*)

1. Media NB ditimbang sebanyak 2,5 gram.
2. Media NB 2,5 gram ditambahkan aquades sebanyak 150 ml kemudian dipanaskan di atas hot plate sampai homogen.
3. Media NB dimasukkan ke dalam botol sebanyak 50 ml dan ditutup dengan kapas kemudian disterilisasi dalam autoklaf.

3.4.4 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 dalam autoklaf.

3.4.5 Penumbuhan Bakteri *Listeria monocytogenes*

1. Bakteri secara aseptik diinokulasikan dengan jarum inokulasi lurus pada permukaan medium miring dengan arah lurus dari bawah ke atas.
2. Biakan tersebut diinkubasi dalam inkubator pada suhu 37 °C selama 24 jam.

3.4.6 Penumbuhan Bakteri *Listeria monocytogenes* pada Sampel

1. Diambil 1 ml bakteri pada medium NB.
2. Ditanamkan bakteri ke dalam jus apel yang telah disterilisasi.
3. Bakteri pada jus apel dibiakkan dengan diinkubasi dalam inkubator pada suhu 37 °C selama 24 jam.

3.4.7 Perlakuan Pemaparan *Light Emitting Diode* (LED)

1. Mempersiapkan alat dan bahan yang akan digunakan.
2. Bakteri yang tumbuh pada jus apel diberi paparan *Light Emitting Diode* (LED) ungu 0 mW/cm², 50 mW/cm², 75 mW/cm², 100 mW/cm², 125 mW/cm² dengan lama pemaparan 10 menit, 20 menit, 30 menit, 40 menit, dan 50 menit.

3. Perlakuan untuk paparan *Light Emitting Diode* (LED) diulangi sebanyak 3 kali pada sampel yang berbeda dengan variasi intensitas dan waktu yang sama.

3.4.8 Perhitungan Koloni Bakteri

1. Suspensi dari botol flakon kemudian dimasukkan ke dalam botol flakon steril yang berisi 9 ml aquades sebanyak 1 ml dan diberi tanda 10^{-1} .
2. Suspensi 10^{-1} yang sudah dihomogenkan kemudian diambil sebanyak 1 ml dan dimasukkan ke dalam botol flakon steril yang berisi 9 ml aquades sebagai pengenceran kedua dan diberi tanda 10^{-2} .
3. Suspensi 10^{-2} yang sudah dihomogenkan kemudian diambil sebanyak 1 ml dan dimasukkan ke dalam botol flakon steril yang berisi 9 ml aquades sebagai pengenceran ketiga dan diberi tanda 10^{-3} .
4. Suspensi 10^{-3} yang sudah dihomogenkan kemudian diambil sebanyak 1 ml dan dimasukkan ke dalam botol flakon steril yang berisi 9 ml aquades sebagai pengenceran keempat dan diberi tanda 10^{-4} .
5. Pengenceran dengan sama dilakukan sampai pengenceran ketujuh.
6. Suspensi pada pengenceran 10^{-7} sebanyak 1 ml dituangkan ke dalam cawan petri steril kemudian dituangkan media PCA (*Plate Count Agar*) cair kira-kira sebanyak 15 ml. Setelah itu dihomogenkan.
7. Semua proses di atas dilakukan secara aseptis yaitu di dekat api bunsen.
8. Media PCA dalam cawan petri kemudian dimasukkan ke dalam inkubator dengan posisi terbalik (bagian tutup berada di bawah) setelah media tersebut menjadi padat.

9. Media PCA diinkubasi pada temperatur 37 °C selama 24 jam.
10. Koloni dari bakteri *Listeria monocytogenes* kemudian dihitung dan diberi tanda dengan spidol untuk menghindari penghitungan ulang.

3.4.9 Pengujian Kadar pH

1. Mempersiapkan alat dan bahan yang akan digunakan.
2. Jus apel yang telah diberi paparan *Light Emitting Diode* (LED) ungu 0 mW/cm², 50 mW/cm², 75 mW/cm², 100 mW/cm², 125 mW/cm² dengan variasi lama paparan 10 menit, 20 menit, 30 menit, 40 menit, dan 50 menit, dimasukkan ke dalam beaker glass.
3. Kadar pH diukur dengan memasukkan pH meter ke dalam beaker glass berisi sampel.

3.4.10 Penilaian Organoleptik (Warna, rasa, dan aroma)

1. Mempersiapkan alat dan bahan yang akan digunakan.
2. Jus apel yang telah dipapari *Light Emitting Diode* (LED) ungu 0 mW/cm², 50 mW/cm², 75 mW/cm², 100 mW/cm², 125 mW/cm² dengan variasi lama paparan 10 menit, 20 menit, 30 menit, 40 menit, dan 50 menit menjadi sampel uji.
3. Analisis warna dilakukan dengan pengambilan gambar dari setiap sampel uji dengan menggunakan kamera.
4. Analisis rasa dilakukan dengan meminum sampel uji.
5. Analisis aroma dilakukan dengan mencium aroma sampel uji menggunakan indera pencium (hidung).

3.5 Teknik Pengumpulan Data

3.5.1 Jumlah Bakteri *Listeria monocytogenes*

Data yang telah diperoleh berupa hasil perhitungan bakteri *Listeria monocytogenes* setelah diberi cahaya tampak (LED) ungu dengan variasi intensitas dan variasi waktu kemudian diolah dan dicatat pada tabel 3.1

Tabel 3.1 Pengolahan Data Jumlah Bakteri

Perlakuan		Jumlah Sel Bakteri (CFU/ml)			Rata-rata
Intensitas (mW/cm ²)	Waktu (Menit)	1	2	3	
Kontrol	-				
0	10				
	20				
	30				
	40				
	50				
50	10				
	20				
	30				
	40				
	50				
75	10				
	20				
	30				
	40				
	50				
100	10				
	20				
	30				
	40				
	50				
125	10				
	20				
	30				
	40				
	50				

3.5.2 Kadar pH

Data yang diperoleh berupa hasil pengujian pH meter dengan sampel bakteri yang tumbuh pada jus apel setelah dipapari *Light Emitting Diode* (LED)

ungu dengan variasi intensitas dan lama pemaparan kemudian dicatat pada tabel 3.2

Tabel 3.2 Pengolahan Data Kadar pH

Perlakuan		pH	Keterangan
Intensitas (mW/cm ²)	Waktu (Menit)		
Kontrol	-		
0	10		
	20		
	30		
	40		
	50		
50	10		
	20		
	30		
	40		
	50		
75	10		
	20		
	30		
	40		
	50		
100	10		
	20		
	30		
	40		
	50		
125	10		
	20		
	30		
	40		
	50		

3.5.3 Penilaian Organoleptik (Warna, rasa, dan aroma)

Data yang diperoleh berupa hasil penilaian oleh peneliti dengan sampel jus apel setelah dipapari *Light Emitting Diode* (LED) ungu dengan variasi intensitas dan lama pemaparan kemudian dicatat pada tabel berikut.

Tabel 3.3 Pengolahan Data Warna

Perlakuan	Waktu (Menit)				
Intensitas (mW/cm ²)	10	20	30	40	50
0					
50					
75					
100					
125					
Kontrol					

Tabel 3.4 Pengolahan Data Rasa

Perlakuan	Rasa					Kontrol
Intensitas (mW/cm ²)	10 Menit	20 Menit	30 Menit	40 Menit	50 Menit	
0						
50						
75						
100						
125						

Sangat suka: 7-9

Suka: 4-6

Tidak Suka: 1-3

Tabel 3.5 Pengolahan Data Aroma

Perlakuan	Aroma					Kontrol
Intensitas (mW/cm ²)	10 Menit	20 Menit	30 Menit	40 Menit	50 Menit	
0						
50						
75						
100						
125						

Sangat suka: 7-9

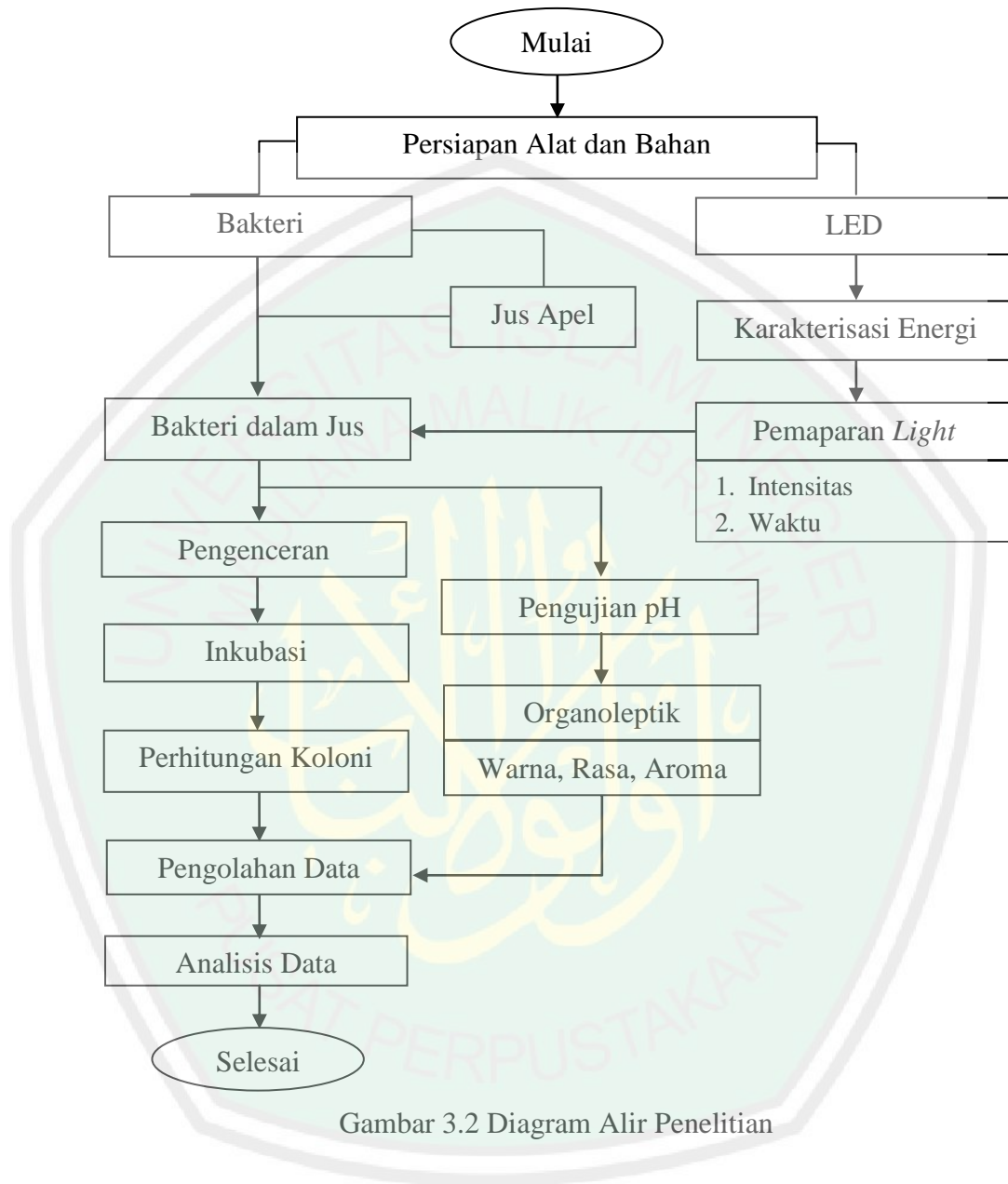
Suka: 4-6

Tidak Suka: 1-3

3.6 Teknik Analisis Data

Membandingkan antara bakteri *Listeria monocytogenes* kontrol dan bakteri yang dipapari *Light Emitting Diode* (LED) dengan variasi intensitas dan lama pemaparan. Kemudian data yang diperoleh dianalisis dengan metode deskriptif atau grafik dan diagram. Analisis yang sama dilakukan pada setiap data pada jus apel yang dipapari *Light Emitting Diode* (LED) dengan variasi intensitas dan lama pemaparan.

3.7 Diagram Alir Penelitian

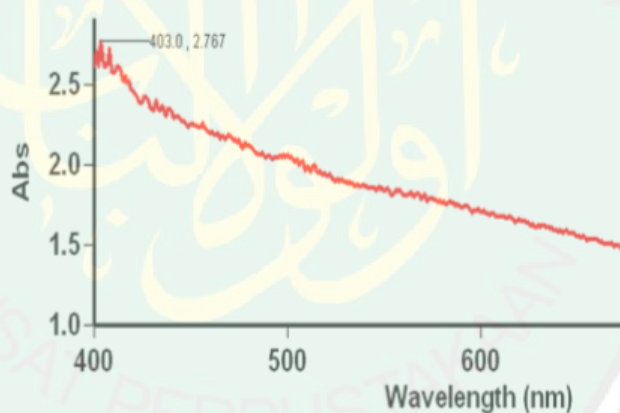


Gambar 3.2 Diagram Alir Penelitian

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Hasil Penelitian

Penelitian ini diawali dengan pengujian panjang gelombang serapan bakteri *Listeria monocytogenes*. Pengujian menggunakan spektrofotometer UV-Vis diperlukan untuk mengetahui panjang gelombang yang sesuai pada bakteri *Listeria monocytogenes* agar absorpsi cahaya dapat optimal, sehingga digunakan *Light Emitting Diode* (LED) dengan panjang gelombang 405 nm yaitu *Light Emitting Diode* (LED) berwarna ungu. Kemudian dilakukan pengambilan data jumlah koloni bakteri *Listeria monocytogenes*, kadar pH dan organoleptik jus apel. Hasil pengujian UV-Vis ditunjukkan pada gambar 4.1



Gambar 4.1 Panjang Gelombang Uji UV-Vis dari Bakteri *Listeria monocytogenes*

4.1.1 Pengaruh Intensitas dan Lama Pemaparan *Light Emitting Diode* (LED) terhadap Pertumbuhan Bakteri *Listeria Monocytogenes* pada Jus Apel

Sampel yang telah disterilkan ditumbuhi bakteri *Listeria monocytogenes* dan diinkubasi pada suhu 37 °C selama 24 jam. Jus apel yang

telah ditumbuhi bakteri *Listeria monocytogenes* dipapari *Light Emitting Diode* (LED) dan dihasilkan data jumlah koloni bakteri *Listeria monocytogenes* dengan menggunakan persamaan:

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

a. Data

Data nilai persentase penurunan bakteri dapat diketahui dari data jumlah koloni bakteri *Listeria monocytogenes* dengan menggunakan persamaan berikut:

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

Sehingga diperoleh data koloni seperti tabel 4.1

Tabel 4.1 Data Persentase Penurunan Bakteri *Listeria monocytogenes* Setelah Dipapari *Light Emitting Diode* (LED)

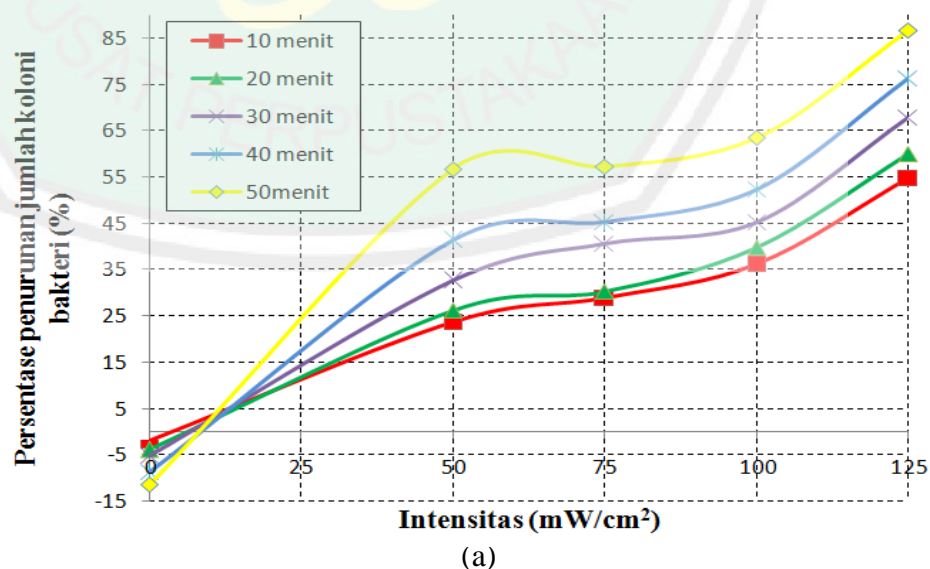
I (mW/cm ²)	Persentase Penurunan Bakteri (%)				
	10 Menit	20 Menit	30 Menit	40 Menit	50 Menit
0	-1,98	-3,96	-5,15	-8,73	-11,51
50	23,81	26,19	32,54	41,27	56,75
75	28,97	30,16	40,48	45,24	57,14
100	36,11	39,68	45,24	52,38	63,49
125	54,76	59,92	67,86	76,19	86,51

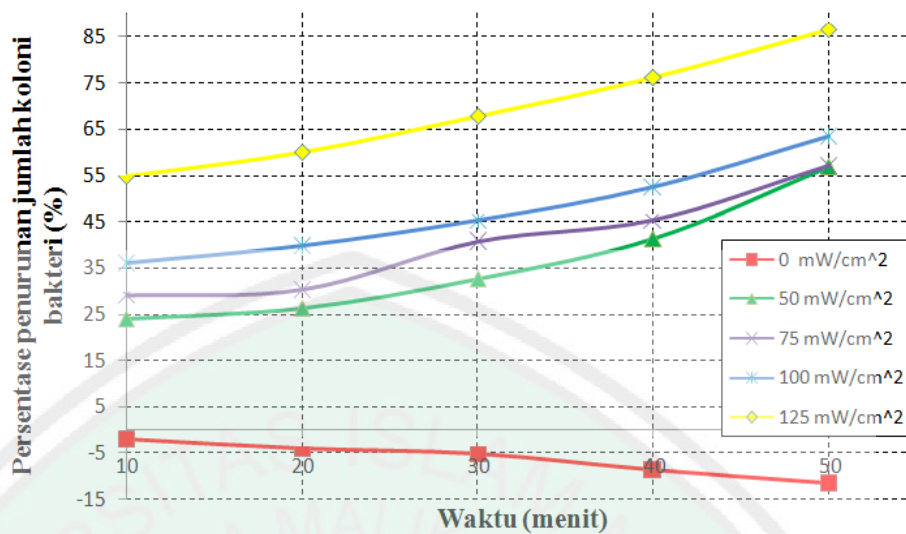
Tabel 4.1 menunjukkan bahwa paparan *Light Emitting Diode* (LED) dapat mengurangi jumlah bakteri *Listeria monocytogenes*. Pada data intensitas 0 mW/cm² atau tanpa pemaparan menghasilkan persentase penurunan bakteri *Listeria monocytogenes* -1,98 % hingga -11,51 % karena pada kondisi tersebut jumlah bakteri semakin meningkat.

Pemaparan *Light Emitting Diode* (LED) dengan intensitas 50 mW/cm^2 dan waktu pemaparan 10 menit menghasilkan persentase penurunan jumlah bakteri sebesar 23,81 %, dan pada waktu 50 menit menghasilkan persentase penurunan jumlah bakteri sebesar 56,75 %. Ketika intensitas *Light Emitting Diode* (LED) dinaikkan hingga 125 mW/cm^2 dan waktu pemaparan 10 menit menghasilkan persentase penurunan jumlah bakteri sebesar 54,76 %, dan pada waktu 50 menit menghasilkan persentase penurunan jumlah bakteri sebesar 86,51 %. Hal ini menunjukkan bahwa semakin tinggi intensitas yang diberikan dan semakin lama waktu pemaparan maka persentase penurunan jumlah bakteri semakin besar.

b. Analisis Data

Data hasil penelitian yang telah diperoleh menunjukkan hubungan antara intensitas dan lama pemaparan *Light Emitting Diode* (LED) dengan persentase penurunan jumlah koloni bakteri *Listeria monocytogenes* pada jus apel. Seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.2





(b)

Gambar 4.2 (a) Grafik pengaruh intensitas terhadap persentase penurunan jumlah koloni bakteri *Listeria monocytogenes* pada jus apel
 (b) Grafik pengaruh lama pemaparan terhadap persentase penurunan jumlah koloni bakteri *Listeria monocytogenes* pada jus apel

Gambar 4.2 (a) menunjukkan bahwa pada lama pemaparan 10 menit dengan intensitas 0-50 mW/cm² grafik meningkat secara signifikan, menunjukkan bahwa terjadi penurunan jumlah koloni bakteri sebesar -1,98 hingga 23,81 %. Kenaikan grafik yang signifikan juga terjadi pada lama pemaparan 20-50 menit. Pada lama pemaparan 10-50 menit dengan intensitas 50-100 mW/cm² grafik meningkat perlahan dan kurang signifikan. Sedangkan pada lama pemaparan 10-50 menit dengan intensitas 100-125 mW/cm² menghasilkan kenaikan grafik yang lebih signifikan yaitu 36,11-86,51 %.

Gambar 4.2 (b) menunjukkan bahwa pemaparan *Light Emitting Diode* (LED) dengan intensitas 0 mW/cm² dan lama pemaparan hingga

50 menit menghasilkan jumlah koloni bakteri *Listeria monocytogenes* semakin meningkat. Sedangkan pada intensitas 50-125 mW/cm² dengan lama pemaparan 10-50 menit menghasilkan kenaikan grafik yang tidak signifikan.

Berdasarkan gambar 4.2 menunjukkan bahwa peningkatan intensitas lebih berpengaruh terhadap penurunan jumlah bakteri *Listeria monocytogenes* daripada lama pemaparan. Hal ini disebabkan oleh cahaya tampak (LED) yang dipancarkan dapat menghasilkan reaksi fotokimia di dalam membran sel bakteri dan menyebabkan sel bakteri mati dengan terjadinya absorpsi oleh elektron-elektron pada molekul atom sel bakteri, setelah itu molekul atau atom tersebut akan tereksitasi (Astuti, 2011).

4.1.2 Pengaruh Intensitas dan Lama Pemaparan *Light Emitting Diode* (LED) terhadap pH pada Jus Apel

Pengukuran kadar pH dilakukan dengan menggunakan pH meter pada setiap pengambilan data dengan variasi intensitas dan lama pemaparan *Light Emitting Diode* (LED).

a. Data

Data kadar pH jus apel setelah dipapari *Light Emitting Diode* (LED) dengan variasi intensitas dan lama pemaparan ditunjukkan pada tabel 4.2

Tabel 4.2 Data Kadar pH Jus Apel Setelah Dipapari *Light Emitting Diode* (LED)

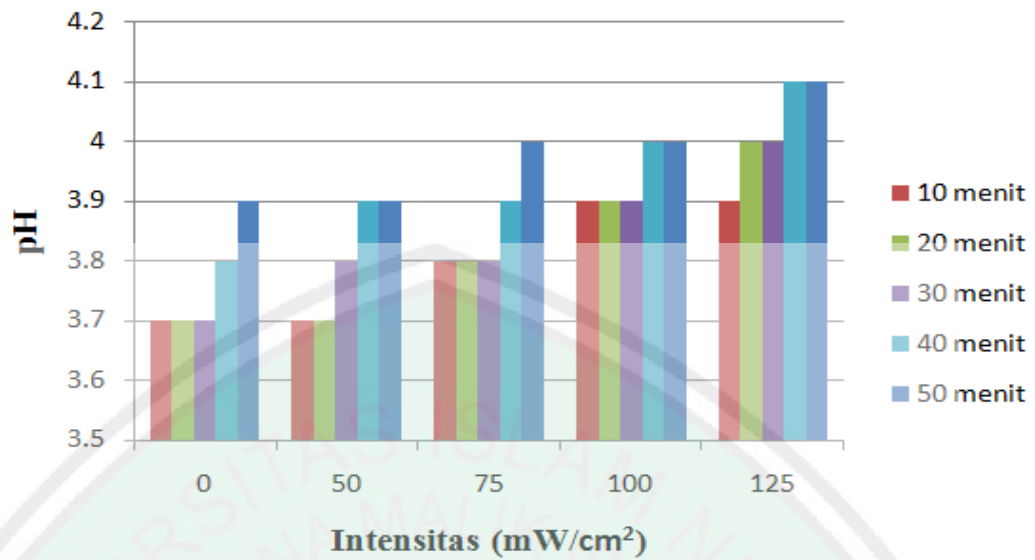
Intensitas (mW/cm ²)	pH					Kontrol
	10 Menit	20 Menit	30 Menit	40 Menit	50 Menit	
0	3,7	3,7	3,7	3,8	3,9	3,7
50	3,7	3,7	3,8	3,9	3,9	
75	3,8	3,8	3,8	3,9	4,0	
100	3,9	3,9	3,9	4,0	4,0	
125	3,9	4,0	4,0	4,1	4,1	

Tabel 4.2 menunjukkan bahwa paparan *Light Emitting Diode* (LED) berpengaruh terhadap pH jus apel. Kadar pH jus apel pada kontrol adalah 3,7 yang termasuk dalam sifat asam dan pada keadaan tanpa pemaparan dengan lama pemaparan 50 menit menghasilkan peningkatan kadar pH hingga 3,9. Setelah dipapari *Light Emitting Diode* (LED) pada intensitas 50 mW/cm² dengan lama pemaparan semakin meningkat menunjukkan nilai yang semakin meningkat dan kadar pH paling tinggi dihasilkan pada intensitas 125 mW/cm² dan lama pemaparan 50 menit yaitu 4,1.

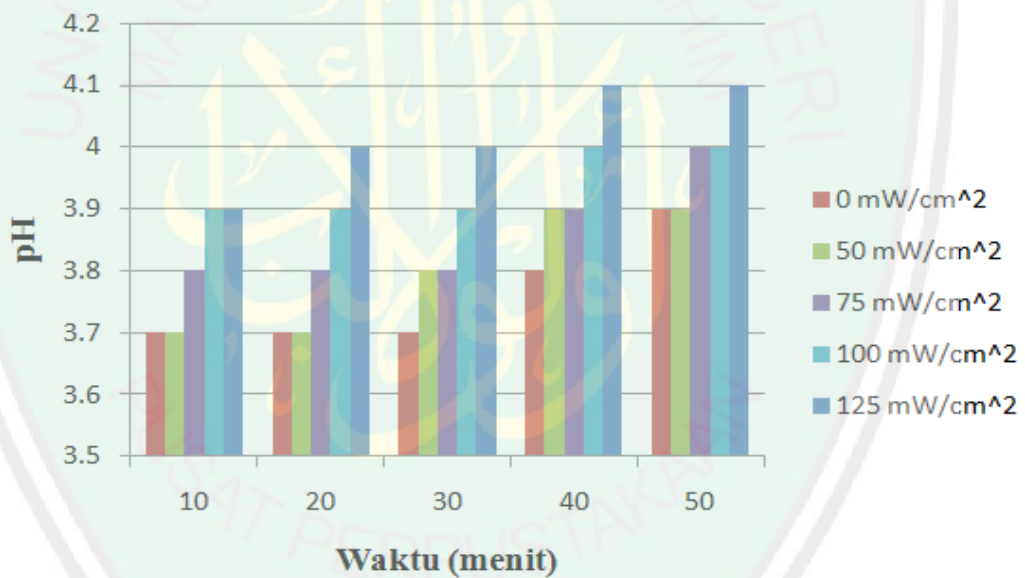
b. Analisis Data

Data hasil penelitian yang telah diperoleh menunjukkan hubungan antara intensitas dan lama pemaparan *Light Emitting Diode* (LED) dengan kadar pH pada jus apel. Seperti yang ditunjukkan pada gambar

4.3



(a)



(b)

Gambar 4.3 (a) Diagram pengaruh intensitas terhadap pH jus apel, (b) Diagram pengaruh lama pemaparan terhadap pH jus apel

Gambar 4.3 (a) menunjukkan bahwa pada intensitas 0-125 mW/cm^2 dan lama pemaparan 10-50 menit menghasilkan kenaikan pH secara tidak signifikan yaitu 3,7-4,1. Hal ini dikarenakan intensitas rendah dan lama pemaparan yang singkat tidak cukup mampu meningkatkan kadar pH jus

apel secara signifikan. Sedangkan pada gambar 4.3 (b) menunjukkan bahwa pada lama pemaparan 10-50 menit dan intensitas 0-125 mW/cm² menghasilkan kenaikan pH yang sedikit lebih signifikan. Berdasarkan gambar 4.3 menunjukkan bahwa peningkatan lama pemaparan lebih berpengaruh terhadap kadar pH jus apel daripada peningkatan intensitas. Hal ini disebabkan oleh pemaparan pada sari buah menyebabkan mikroba tidak dapat meningkatkan produksi asam, sehingga menurunkan nilai total asam dan meningkatkan kadar pH, dan semakin lama pemaparan maka semakin banyak komponen buah yang terekstrak.

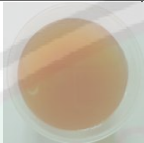
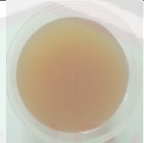

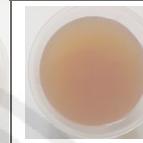
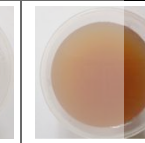


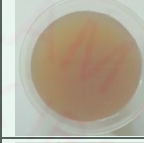
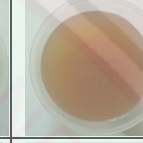
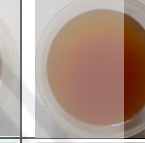

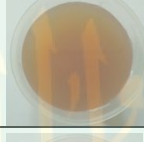
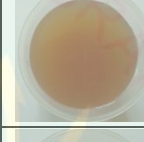
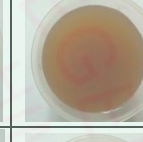
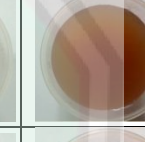

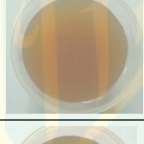

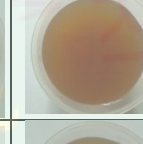
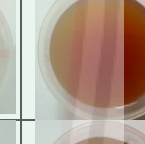

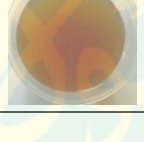
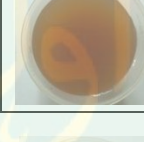

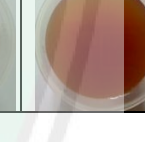

4.1.3 Pengaruh Intensitas dan Lama Pemaparan *Light Emitting Diode* (LED) terhadap Organoleptik pada Jus Apel

Pengujian organoleptik meliputi uji warna, rasa, dan aroma pada jus apel yang tidak disterilkan dan tidak diberi bakteri *Listeria monocytogenes* dengan menggunakan 5 orang panelis pada pengujian rasa dan aroma yang bertujuan untuk mengurangi kemungkinan data yang subjektif.

a. Warna

Data organoleptik warna jus apel dihasilkan dari pengambilan gambar menggunakan kamera digital setelah dipapari *Light Emitting Diode* (LED) dengan variasi intensitas dan lama pemaparan, sehingga diperoleh data pada tabel 4.3

Tabel 4.3 Data Warna Jus Apel Setelah Dipapari *Light Emitting Diode* (LED)

Perlakuan	Waktu (Menit)				
Intensitas (mW/cm ²)	10	20	30	40	50
0					
50					
75					
100					
125					
Kontrol					

Gambar pada tabel 4.3 menunjukkan bahwa warna pada jus apel setelah dipapari *Light Emitting Diode* (LED) dengan intensitas 0 mW/cm², 50 mW/cm², 75 mW/cm², 100 mW/cm², 125 mW/cm² dan lama pemaparan 10 menit, 20 menit, 30 menit, 40 menit, dan 50 menit mengalami perubahan yang signifikan. Warna jus apel yang mengalami

perubahan signifikan dari keadaan kontrol adalah pada intensitas 125 mW/cm^2 dengan lama pemaparan 50 menit.

Data hasil penelitian yang telah diperoleh menunjukkan hubungan antara intensitas dan lama pemaparan *Light Emitting Diode* (LED) dengan warna pada jus apel, yaitu ketika intensitas *Light Emitting Diode* (LED) meningkat dan waktu pemaparan yang semakin lama menghasilkan warna jus apel yang semakin gelap dan kurang menarik. Hal tersebut dikarenakan adanya proses oksidasi oleh enzim polifenol oksidase yang terdapat pada apel. Gambar pada tabel 4.3 juga menunjukkan bahwa peningkatan lama pemaparan lebih berpengaruh terhadap warna jus apel daripada intensitas.

b. Rasa

Data organoleptik rasa jus apel diperoleh dari penilaian berskala oleh 5 orang panelis dengan menggunakan indera pengecap (lidah) setelah dipapari *Light Emitting Diode* (LED) dengan variasi intensitas dan lama pemaparan, sehingga diperoleh data pada tabel 4.4

Tabel 4.4 Data Rasa Jus Apel Setelah Dipapari *Light Emitting Diode* (LED)

Perlakuan	Rasa					Kontrol
Intensitas (mW/cm^2)	10 Menit	20 Menit	30 Menit	40 Menit	50 Menit	8
0	8	8	8	8	7	
50	8	8	8	7	6	
75	8	8	7	6	5	
100	8	7	6	5	3	
125	7	7	5	3	3	

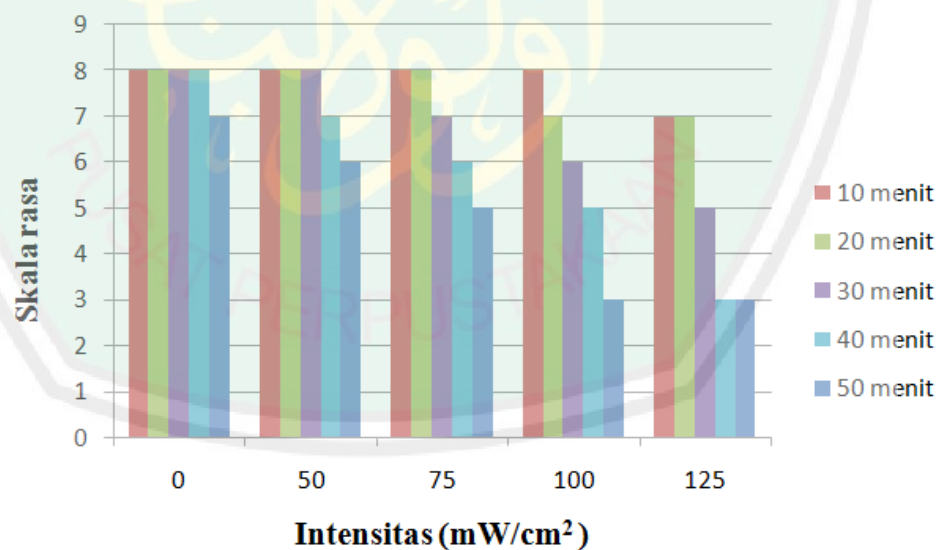
Sangat suka: 7-9

Suka: 4-6

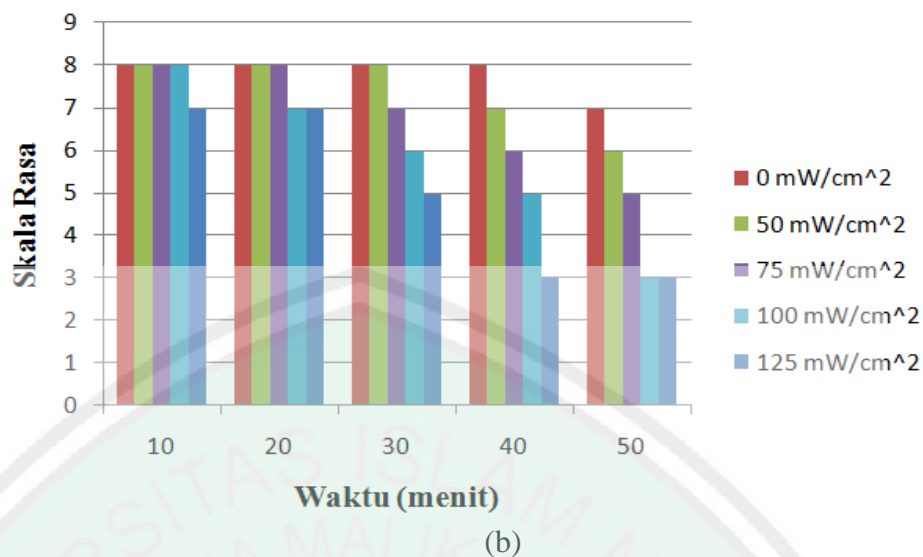
Tidak Suka: 1-3

Tabel 4.4 menunjukkan bahwa rasa pada jus apel setelah dipapari *Light Emitting Diode* (LED) dengan intensitas 0 mW/cm^2 , 50 mW/cm^2 , 75 mW/cm^2 , 100 mW/cm^2 , 125 mW/cm^2 dan lama pemaparan 10 menit, 20 menit, 30 menit, 40 menit, dan 50 menit mengalami perubahan yang signifikan. Rasa jus apel yang mengalami perubahan paling signifikan dari keadaan kontrol adalah pada intensitas 125 mW/cm^2 dengan lama pemaparan 50 menit. Ketika intensitas *Light Emitting Diode* (LED) semakin tinggi dan waktu pemaparan semakin lama menghasilkan rasa jus apel yang semakin hambar dan tidak segar.

Data hasil penelitian yang telah diperoleh menunjukkan hubungan antara intensitas dan lama pemaparan *Light Emitting Diode* (LED) dengan rasa jus apel. Seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.4



(a)



Gambar 4.4 (a) Diagram pengaruh intensitas terhadap rasa jus apel,
(b) Diagram pengaruh lama pemaparan terhadap rasa jus apel

Gambar 4.4 (a) menunjukkan bahwa pada intensitas 0-50 mW/cm² dan lama pemaparan 10-50 menit menghasilkan skala kesukaan panelis terhadap rasa jus apel menurun secara tidak signifikan yaitu 8-6. Pada intensitas 75-125 mW/cm² dan lama pemaparan 10-50 menit menghasilkan skala menurun dengan signifikan yaitu 8-3. Sedangkan pada gambar 4.4 (b) menunjukkan bahwa pada lama pemaparan 10-20 menit dan intensitas 0-125 mW/cm² menghasilkan skala menurun dengan tidak signifikan yaitu 8-7. Pada lama pemaparan 30-50 menit dan intensitas 0-125 mW/cm² menghasilkan skala menurun dengan signifikan yaitu 8-3. Hal ini dikarenakan intensitas rendah dan lama pemaparan yang singkat tidak cukup mampu menurunkan kualitas rasa jus apel secara signifikan. Berdasarkan gambar 4.4 menunjukkan bahwa peningkatan lama pemaparan lebih berpengaruh terhadap kualitas rasa jus

apel daripada peningkatan intensitas. Hal ini disebabkan oleh perubahan sifat fisiko-kimia sari buah dapat dipengaruhi oleh lama penyimpanan, dan pemaparan *Light Emitting Diode* (LED) tidak menghasilkan perubahan secara signifikan.

c. Aroma

Data organoleptik aroma jus apel diperoleh dari penilaian berskala oleh 5 orang panelis dengan menggunakan indera pembau (hidung) setelah dipapari *Light Emitting Diode* (LED) dengan variasi intensitas dan lama pemaparan, sehingga diperoleh data pada tabel 4.5

Tabel 4.5 Data Aroma Jus Apel Setelah Dipapari *Light Emitting Diode* (LED)

Perlakuan	Aroma					Kontrol
	10 Menit	20 Menit	30 Menit	40 Menit	50 Menit	
0	8	8	8	7	6	8
50	8	8	7	7	5	
75	8	8	6	6	5	
100	8	7	6	5	3	
125	7	7	5	4	3	

Sangat suka: 7-9

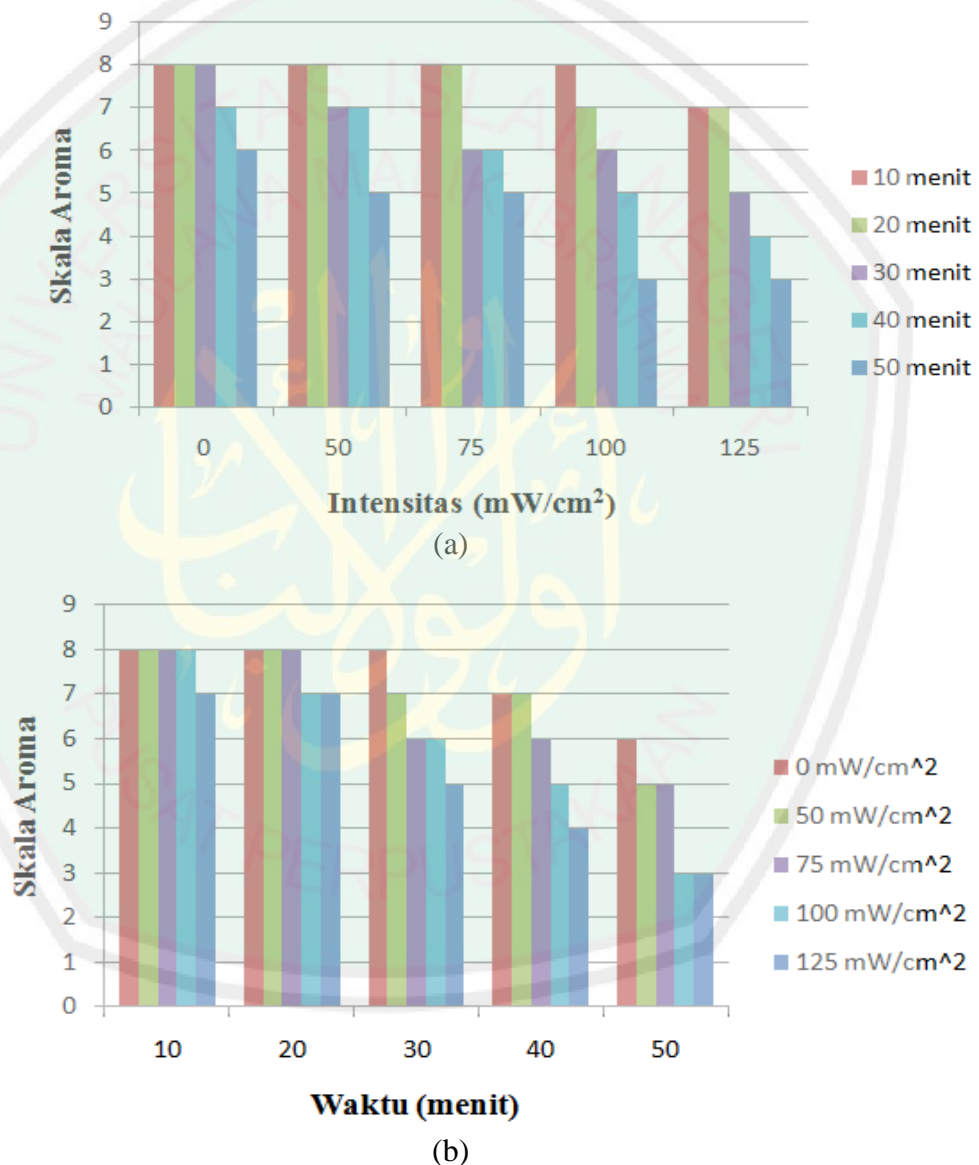
Suka: 4-6

Tidak Suka: 1-3

Tabel 4.5 menunjukkan bahwa rasa pada jus apel setelah dipapari *Light Emitting Diode* (LED) dengan intensitas 0 mW/cm², 50 mW/cm², 75 mW/cm², 100 mW/cm², 125 mW/cm² dan lama pemaparan 10 menit, 20 menit, 30 menit, 40 menit, dan 50 menit mengalami perubahan yang signifikan. Aroma jus apel yang mengalami penurunan skala terbesar dari keadaan kontrol adalah pada intensitas 125 mW/cm² dengan lama pemaparan 50 menit. Ketika intensitas *Light Emitting Diode* (LED)

semakin tinggi dan waktu pemaparan semakin lama menghasilkan aroma jus apel yang semakin menghilang dan tidak segar.

Data hasil penelitian yang telah diperoleh menunjukkan hubungan antara intensitas dan lama pemaparan *Light Emitting Diode* (LED) dengan aroma pada jus apel. Seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.5



Gambar 4.5 (a) Diagram pengaruh intensitas terhadap aroma jus apel, (b) Diagram pengaruh lama pemaparan terhadap aroma jus apel

Gambar 4.5 (a) menunjukkan bahwa pada intensitas 0 mW/cm^2 dan lama pemaparan 10-50 menit menghasilkan skala kesukaan panelis terhadap aroma jus apel menurun secara tidak signifikan yaitu 8-7. Pada intensitas $50-75 \text{ mW/cm}^2$ dan lama pemaparan 10-50 menit menghasilkan skala menurun dengan lebih signifikan yaitu 8-5. Pada intensitas $100-125 \text{ mW/cm}^2$ dan lama pemaparan 10-50 menit menghasilkan skala menurun dengan signifikan yaitu 8-3. Sedangkan pada gambar 4.5 (b) menunjukkan bahwa pada lama pemaparan 10-20 menit dan intensitas $0-125 \text{ mW/cm}^2$ menghasilkan skala menurun dengan tidak signifikan yaitu 8-7. Sedangkan pada lama pemaparan 30-50 menit dan intensitas $0-125 \text{ mW/cm}^2$ menghasilkan skala menurun dengan signifikan yaitu 8-3. Hal ini dikarenakan intensitas rendah dan lama pemaparan yang singkat tidak cukup mampu menurunkan kualitas aroma jus apel secara signifikan. Berdasarkan gambar 4.5 menunjukkan bahwa peningkatan lama pemaparan lebih berpengaruh terhadap kualitas aroma jus apel daripada peningkatan intensitas. Hal ini disebabkan oleh perubahan senyawa volatil yang terdapat pada buah seperti ester, keton, alkohol, dan aldehid dapat dipengaruhi oleh lama penyimpanan, dan pemaparan *Light Emitting Diode* (LED) tidak menghasilkan pengaruh yang signifikan terhadap sifat fisiko-kimia sari buah.

4.2 Pembahasan

4.2.1 Pengaruh Intensitas dan Lama Pemaparan *Light Emitting Diode* (LED) terhadap Jumlah Bakteri *Listeria monocytogenes* pada Jus Apel

Pengujian spektrofotometri UV-Vis dilakukan pada penelitian ini bertujuan untuk menentukan spektrum panjang gelombang cahaya yang sesuai dengan spektrum serap porfirin fotosensitizer bakteri *Listeria monocytogenes*, yaitu dengan menggunakan sinar tampak atau ultraviolet yang diserap oleh molekul bakteri yang dapat menyebabkan eksitasi elektron dari tingkat energi dasar ke tingkat energi yang lebih tinggi, sehingga dengan pemaparan cahaya yang tepat menghasilkan optimalisasi penyerapan cahaya oleh bakteri dan fotoinaktivasi sel bakteri.

Analisis data hasil penelitian ini menunjukkan bahwa ada hubungan antara intensitas dan lama pemaparan *Light Emitting Diode* (LED) terhadap jumlah koloni bakteri *Listeria monocytogenes*, yaitu semakin besar intensitas *Light Emitting Diode* (LED) yang dipaparkan semakin sedikit jumlah koloni bakteri yang masih aktif. Hal ini disebabkan oleh terjadinya mekanisme *Photodynamic Terapi* (PDT), yaitu inaktivasi bakteri dengan fotodinamik.

Mekanisme *Photodynamic Terapi* (PDT) mempunyai berbagai macam proses, termasuk fotofisika yang terjadi karena interaksi cahaya terhadap sel bakteri. Cahaya yang dipancarkan akan diserap oleh elektron (molekul) untuk membangkitkan dalam keadaan pertama dan kemudian sistem dalam memotong pada keadaan triplet. Dalam proses ini, fluoresensi diserap dari keadaan pertama ke keadaan dasar dan energi bisa dihilangkan melalui

perusakan bukan radiasi. Dari keadaan triplet, energi yang hilang akan menghasilkan pancaran sinar atau radiasi fosforesensi dengan waktu hidup yang lama (mikrodetik), kemudian energi tersebut dilanjutkan kepada oksigen terdekat untuk menghasilkan jenis reaksi oksigen dan sebagian dari energi yang lain akan mengalami proses efek fotokimia, dimana dalam proses fotokimia tersebut membran sel akan membengkak dan setelah itu pecah (Astuti, 2011).

Hasil penelitian menunjukkan bahwa *Light Emitting Diode* (LED) mampu menurunkan jumlah bakteri *Listeria monocytogenes* pada jus apel, dimana jumlah bakteri *Listeria monocytogenes* sebelum diberi paparan *Light Emitting Diode* (LED) jumlah koloni sebesar 23.1×10^8 CFU/ml dan setelah dipapari *Light Emitting Diode* (LED) dengan intensitas 125 mW/cm^2 selama 50 menit jumlah koloninya menjadi $3,3 \times 10^8$ CFU/ml dan persentase penurunan jumlah bakteri sebesar 85,7 %.

4.2.2 Pengaruh Intensitas dan Lama Paparan *Light Emitting Diode* (LED) terhadap pH Jus Apel

Faktor lain yang mempengaruhi pertumbuhan bakteri salah satunya adalah pH, sehingga kadar pH merupakan salah satu parameter daya awet suatu produk makanan atau minuman. Mikroba biasanya tumbuh pada rentang pH tertentu. pH yang berbeda dapat disebabkan karena proses metabolisme yang terjadi di dalam sel misalnya akumulasi produk metabolisme yang asam atau basa, sesuai kebutuhan pertumbuhannya (Trenggono, 2004). Total asam semakin menurun dan pH semakin meningkat dengan tingginya daya lampu

yang digunakan dan juga semakin lama penyinaran lampu UV-C. Perlakuan menggunakan iradiasi ultraviolet pada sari buah menyebabkan mikroba tidak dapat meningkatkan produksi asam, sehingga menurunkan nilai total asam dan menaikkan nilai pH (Feng, 2013).

Pemaparan *Light Emitting Diode* (LED) juga dapat merusak sistem metabolisme dari mikroba, sehingga pH pada produk juga mengalami perubahan, dan pemaparan *Light Emitting Diode* (LED) dengan panjang gelombang 405 nm menghasilkan perubahan nilai pH yang tidak signifikan. Seperti halnya yang telah dinyatakan oleh Feng (2013) bahwa tidak ada perubahan yang signifikan dalam nilai pH dan total asam sari buah yang diberi perlakuan UV-C seperti sari buah apel, jeruk dan delima.

Menurut SNI 01-3719-1995, Badan Standarisasi Nasional Peraturan BPOM No. 36 tahun 2013 menyatakan bahwa nilai pH maksimal pada minuman sari buah adalah 4,0. Sedangkan nilai pH jus apel yang dihasilkan pemaparan *Light Emitting Diode* (LED) melebihi batas tersebut, hal ini dikarenakan pembuatan jus apel dilakukan tanpa menggunakan gula dan bahan tambahan makanan lainnya, sehingga nilai pH sangat dipengaruhi oleh kerusakan senyawa fotokimia dengan berbagai reaksi kimia yang melibatkan enzim, cahaya, dan oksigen.

4.2.3 Pengaruh Intensitas dan Lama Pemaparan *Light Emitting Diode* (LED) terhadap Organoleptik Jus Apel

Warna merupakan komponen yang sangat penting dalam menentukan kualitas suatu bahan makanan atau minuman, yang dapat dinilai dengan indera

penglihatan manusia. Nilai kesukaan panelis tertinggi terhadap sifat organoleptik warna jus apel dari panelis yaitu pada keadaan kontrol. Intensitas *Light Emitting Diode* (LED) dengan lama paparan menit. Menurut panelis, panelis dapat membedakan perubahan warna dari jus apel setelah dipapari *Light Emitting Diode* (LED) ketika intensitas dan lama paparan meningkat. Hal tersebut disebabkan oleh pengaruh cahaya yang terlalu lama dapat merubah warna buah. Menurut Noci (2008), radiasi UV-C dapat merusak pigmen warna dalam sari buah. Seperti betakaroten dalam sari buah wortel. Tetapi kerusakan pigmen tersebut tidak terlalu signifikan dibanding produk dengan perlakuan termal.

Warna kecoklatan pada jus apel terjadi karena adanya enzim polifenol oksidase. Reaksi ini disebut reaksi pencoklatan, yang salah satunya disebabkan oleh keberadaan enzim. Proses pencoklatan enzimatik memerlukan enzim polifenol oksidase dan oksigen untuk berhubungan dengan substrat tersebut. Reaksi ini dapat terjadi bila jaringan tanaman terpotong, terkupas dan karena kerusakan secara mekanis. Reaksi ini banyak terjadi pada buah-buahan atau sayuran yang banyak mengandung substrat senyawa fenolik (Winarno, 2004).

Rasa termasuk dalam sifat penentu kualitas jus apel. Penilaian panelis menyatakan bahwa nilai kesukaan tertinggi terhadap sifat organoleptik rasa jus apel pada keadaan kontrol. Menurut panelis, setelah menggunakan indera pengecap (lidah) untuk mengetahui perubahan rasa pada jus apel, panelis dapat membedakan rasa dari jus apel dengan perlakuan yang ada setelah dipapari *Light Emitting Diode* (LED) pada waktu paparan mulai dari 30 menit. Hal

ini disebabkan oleh intensitas dan lama pemaparan *Light Emitting Diode* (LED) tidak memberikan pengaruh yang besar terhadap rasa jus apel.

Perlakuan pemaparan *Light Emitting Diode* (LED) dapat mempengaruhi nilai total asam, dimana semakin lama waktu pemaparan maka nilai total asam semakin menurun. Komponen-komponen penyusun pada buah apel seperti air dan karbohidrat yang terekstrak karena pemaparan *Light Emitting Diode* (LED) mengakibatkan penurunan nilai total asam (Aprilia, 2014). Hal ini menyebabkan kualitas rasa jus buah apel mengalami penurunan, yaitu semakin hambar.

Bau atau aroma merupakan sifat sensori yang paling sulit untuk diklasifikasikan dan dijelaskan karena ragamnya yang begitu besar, agar menghasilkan bau. Dua zat atau lebih yang menghasilkan bau dapat bercampur untuk saling menguatkan atau menutupi aroma yang tidak diinginkan (Setyaningsih, 2010). Aroma juga mempengaruhi tingkat kualitas suatu minuman yang dinilai dengan menggunakan hidung. Nilai kesukaan tertinggi terhadap sifat organoleptik aroma jus apel dari panelis yaitu pada keadaan kontrol. Panelis mengalami kesulitan dalam membedakan aroma dari jus apel dengan variasi intensitas dan lama pemaparan *Light Emitting Diode* (LED). Pengaruh intensitas dan lama pemaparan *Light Emitting Diode* (LED) tidak berpengaruh besar pada tingkat kesukaan panelis terhadap aroma jus apel. Pemaparan *Light Emitting Diode* (LED) tidak menimbulkan pengaruh yang signifikan terhadap sifat fisiko-kimia sari buah, tetapi berpengaruh signifikan terhadap karakter mikrobiologi (Noci, 2008).

Menurut Hui (1992), aroma khas yang dimiliki oleh buah dipengaruhi oleh senyawa volatil yang terdapat pada buah seperti ester, keton, alkohol, dan aldehid. Senyawa volatil pada buah merupakan hal yang berpengaruh pada aroma yang dimiliki buah. Senyawa volatil merupakan senyawa yang mudah menguap. Jika senyawa-senyawa volatil menguap maka komponennya akan mengalami penurunan mutu. Hal ini sesuai dengan penurunan kualitas aroma jus apel yang disebabkan oleh pemaparan *Light Emitting Diode* (LED).

Sifat organoleptik jus apel tidak hanya dipengaruhi oleh intensitas dan lama pemaparan *Light Emitting Diode* (LED), tetapi juga dipengaruhi oleh proses oksidasi yang terjadi pada buah apel.

4.3 Integrasi dengan Al-Quran

Al-Quran adalah firman Allah SWT yang diturunkan sebagai pedoman hidup dan petunjuk bagi umat manusia agar mendapatkan keselamatan dan kebahagiaan di dunia dan akhirat. Al-Quran menjelaskan tentang bukti kebesaran dan kekuasaan Allah SWT dalam menciptakan dan mengatur alam semesta seisinya dengan sangat sempurna dan mempunyai manfaat dan kegunaan masing-masing, yaitu sesuai dengan *qudrah* dan *iradah* Allah SWT.

Di dalam AL-Quran surat An-Nahl[16] ayat 11 Allah SWT berfirman:

يُنْبِتُ لَكُمْ بِهِ الزَّرْعَ وَالزَّيْتُونَ وَالنَّخِيلَ وَالْأَعْنَبَ وَمِنْ كُلِّ الثَّمَرَاتِ قُلْ إِنَّ فِي ذَلِكَ
لَآيَةً لِّقَوْمٍ يَتَفَكَّرُونَ ﴿١١﴾

“Dia menumbuhkan bagi kamu dengan air hujan itu tanam-tanaman; zaitun, korma, anggur dan segala macam buah-buahan. Sesungguhnya pada yang

demikian itu benar-benar ada tanda (kekuasaan Allah) bagi kaum yang memikirkan.” (Q.S An-Nahl[16]: 11).

Ayat di atas menjelaskan bahwa Allah SWT menumbuhkan berbagai macam tanaman dan buah-buahan dengan menurunkan air hujan ke bumi seperti buah zaitun, kurma, anggur, dan termasuk juga buah apel. Hal tersebut perlu kita jadikan renungan bahwa Allah SWT telah memberikan banyak rahmat dan nikmat kepada kita, yaitu berupa bumi yang subur karena hujan yang turun sehingga menumbuhkan buah-buahan yang merupakan sedikit dari sekian banyak rizki yang diberikan oleh Allah kepada seluruh umat manusia. Maka dari itu seharusnya kita tidak meragukan kekuasaan Allah SWT dengan menggunakan rizki tersebut dengan baik dan halal. Firman Allah SWT dalam Q.S Al-Baqarah[2] ayat 168:

يَا أَيُّهَا النَّاسُ كُلُوا مِمَّا فِي الْأَرْضِ حَلَالًا طَيِّبًا وَلَا تَتَّبِعُوا خُطُوَاتِ الشَّيْطَانِ إِنَّهُ لَكُمْ عَدُوٌّ مُّبِينٌ ﴿١٦٨﴾

“Hai sekalian manusia, makanlah yang halal lagi baik dari apa yang terdapat di bumi, dan janganlah kamu mengikuti langkah-langkah syaitan, karena sesungguhnya syaitan itu adalah musuh yang nyata bagimu” (Q.S Al-Baqarah[2]:168).

Dalam ayat ini, Allah SWT memerintahkan kepada umat manusia untuk memakan makanan yang telah tersedia di bumi ini dengan ketentuan halal hukumnya dan baik dzatnya. Kata *halaalan* (حَلَالًا) secara etimologi berasal dari kata *halla yahullu hallan wa halalan* yang berarti melepaskan, menguraikan, membubarkan, memecahkan, membebaskan dan membolehkan. Sedangkan secara

terminologi, kata *halal* mempunyai arti hal-hal yang boleh dan dapat dilakukan karena bebas atau tidak terikat dengan ketentuan-ketentuan yang melarangnya, atau segala sesuatu yang bebas dari bahaya duniawi dan ukhrawi. Sedangkan kata *Thayyiban* (طَيِّبًا) diambil dari kata *thaba yathibu thayyiban* dengan beberapa makna, yaitu *zaka wa thahara* (suci dan bersih), *jada wa hasuna* (baik dan elok), *ladzda* (enak), dan *halal* (halal).

Makanan yang halal adalah makanan yang diperbolehkan oleh agama islam dari segi hukum maupun dzatnya, seperti daging, sayur, buah-buahan, dan lain-lain. Hakikat dari makanan halal adalah makanan yang cara perolehan dan pengolahannya sesuai dengan aturan agama islam, contohnya daging sapi yang didapatkan dari hasil mencuri, yaitu perbuatan yang dilarang oleh islam. Sedangkan makanan yang baik adalah makanan yang aman untuk dikonsumsi oleh manusia, tidak menyebabkan penyakit atau membahayakan tubuh manusia. Baik buruknya makanan tidak sama bagi masing-masing individu, dikarenakan keadaan tubuh manusia yang berbeda-beda dalam menanggapi makanan yang dikonsumsi.

Allah SWT berfirman dalam surat Yunus[10] ayat 5:

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

“Dia-lah yang menjadikan matahari bersinar dan bulan bercahaya dan ditetapkan-Nya manzilah-manzilah (tempat-tempat) bagi perjalanan bulan itu, supaya kamu mengetahui bilangan tahun dan perhitungan (waktu). Allah tidak menciptakan yang demikian itu melainkan dengan hak. dia menjelaskan tanda-tanda (kebesaran-Nya) kepada orang-orang yang Mengetahui” (QS. Yunus[10]: 5)

Kata *dhiya*' digunakan untuk matahari, sedangkan kata *nur* untuk bulan, perbedaan dalam penggunaan kata sinar dan cahaya pada ayat ini menyatakan bahwa matahari yang bersinar berbeda dengan bulan yang bercahaya. Sinar matahari bersumber dari dirinya sendiri dan cahaya bulan tidak bersumber dari dirinya sendiri, melainkan pantulan dari sinar matahari. Matahari bersinar dengan terang, hangat, panas, dan menyilaukan, sedangkan bulan bercahaya dan redup. Hal tersebut menunjukkan bahwa Allah menciptakan bulan yang bercahaya dari pantulan sinar matahari, yang redup hingga yang terang sesuai dengan kemanfaatannya. Seperti halnya *Light Emitting Diode* (LED) yang dapat menghasilkan cahaya redup hingga terang sesuai dengan intensitas cahaya tertentu karena menerima tegangan dari power supply dengan mengatur nilai resistansinya, sehingga semakin besar intensitas cahaya maka semakin terang cahaya yang dihasilkan dengan tingkat panas yang rendah.

Penelitian ini menggunakan *Light Emitting Diode* (LED) yang berpotensi dapat mengurangi pertumbuhan bakteri *Listeria monocytogenes* pada jus apel dengan variasi intensitas dan lama pemaparan, dan berpengaruh pada nilai pH dan organoleptik (warna, rasa, aroma) jus apel yang mengalami perubahan tidak signifikan.

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dengan pemaparan *Light Emitting Diode* (LED) dengan variasi intensitas dan lama pemaparan terhadap bakteri *Listeria monocytogenes*, pH, dan organoleptik pada jus apel maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Intensitas dan lama pemaparan *Light Emitting Diode* (LED) dapat mengurangi jumlah koloni bakteri *Listeria monocytogenes* pada jus apel dengan persentase penurunan jumlah bakteri terbesar adalah 86,51 %, yaitu pada intensitas 125 mW/cm² dan lama pemaparan 50 menit.
2. Intensitas dan lama pemaparan *Light Emitting Diode* (LED) dapat meningkatkan kadar pH pada jus apel dengan kadar pH terbesar adalah 4,1 pada intensitas 125 mW/cm² dan lama pemaparan 50 menit, dan hasil kadar pH terbaik untuk dikonsumsi adalah 3,7, yaitu pada keadaan kontrol atau tanpa pemaparan.
3. Intensitas dan lama pemaparan *Light Emitting Diode* (LED) dapat menurunkan kualitas organoleptik pada jus apel dengan menghasilkan warna, rasa, dan aroma buah apel menjadi semakin kurang menarik dan kurang diminati meskipun tidak terlalu signifikan. Sehingga hasil terbaik dari sifat organoleptik jus apel yaitu pada keadaan kontrol atau tanpa pemaparan.

5.2 Saran

Berdasarkan kesimpulan yang sudah dinyatakan maka diberikan saran-saran untuk dilakukan perbaikan di masa mendatang, yaitu:

1. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut tentang efektivitas pemaparan *Light Emitting Diode* (LED) terhadap penonaktivasi bakteri pada produk pangan.
2. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut menggunakan *Light Emitting Diode* (LED) dengan panjang gelombang lain.
3. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut dengan menggunakan rasio nilai variasi lebih besar agar mendapat hasil yang signifikan.



DAFTAR PUSTAKA

Al-Qur'an dan Terjemahnya. Kementerian Agama RI.

Amalia D. F. 2015. *Perlindungan Hukum Bagi Konsumen Terhadap Beredarnya Apel Granny Smith yang Terkontaminasi Bakteri Listeria Monocytogenes*. (Skripsi).

Anonim. 2010. *Membran Sel*. http://id.wikipedia.org/wiki/Membran_sel diunduh 09 oktober 2012.

Aprilia, dkk. 2014. *Pembuatan Sari Apel*. Malang. *Jurnal Pangan dan Agroindustri* Vol.2 No.1 p.86-96, Januari 2014.

Arinda, dkk. 2015. *Pengaruh Daya dan Lama Penyinaran Sinar UV-C pada Sari Buah Salak Pondoh*. Malang. *Jurnal Pangan dan Agroindustri* Vol.3 No.4 p. 1337-1344, September 2015.

Ariyanti, T. 2010. *Listeria Monocytogenes Sebagai Kontaminan Makanan Asal Hewan (Foodborne Disease)*. *Wartazoa. Indonesian Bulletin Of Animal And Veterinary Sciences*, 20(2).

Astuti, Suryani D dkk. 2011. *Potensi Blue Light Emitting Diode LED Untuk Fotoinaktivasi Bakteri Staphylococcus Aureus dengan Porfirin Endogen*. *Jbp* Vol. 13, No. 3 September 2011. Surabaya: Universitas Airlangga.

Astuti, Suryani D dkk. 2015. *Potensi Blue Light Emitting Diode LED Inframerah Untuk Fotoinaktivasi Bakteri Bacillus subtilis*. Surabaya: Universitas Airlangga.

Beverly, R., L. 2004. *The Control, Survival, And Growth Of Listeria Monocytogenes On Food Products*. Diss. The Ohio State University.

Cahyadi, W. 2008. *Teknologi Pengolahan Keju Cottage Sari Kedelai dalam Upaya Pengembangan Industri Rakyat*. (Jurnal). Pasundan: Universitas Pasundan.

CDC (Centers For Disease Control) And Prevention. 2014. *Listeria (Listeriosis) Statistics*. <Http://Www.Cdc.Gov/Listeria/Statistics.Html>.

Campbell. 1999. *Biologi jilid I*. Edisi V. Jakarta: Erlangga.

Feng, M., Khasif G., Bohyun S., Keunyon Y., and Jiyong P. 2013. *Effect of UV-C Treatment in Teflon-coil on Microbial Population and Pshycochemical, Characteristics of Watermelon Juice*. *Journal of Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 19, 133-139.

- Harefa, Sofyan P.A. 2011. *Analisis Perbandingan Model Propagasi untuk Komonikasi Bergerak pada Sistem Gsm 900*. Medan: Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknik Usu. Diakses Tanggal 11 Desember 2014. Available Online At: [Http:// Repository. Usu.Ac.Id/ Handle/ 123456789/30784](http://Repository.Usu.Ac.Id/Handle/123456789/30784).
- Harsoyo dan L. Andini. 2002. *Pengaruh Iradiasi dan Penyimpanan Listeria monocytogenes yang diinokulasi pada Daging Kambing*. Pros. Nas. Teknologi Peternakan dan Veteriner. Bogor, 30 September – 1 Oktober 2002. Puslitbang Peternakan, Bogor. hlm. 334 – 337.
- Hui, Y.H. 1992. *Encyclopedia of Food Science and Technology*. New York. Jhon Wiley and Sons Inc.
- Irianto Koes. 2013. *Mikrobiologi Medis*. Bandung: Alfabeta.
- Jawetz, E., J.L. Melnick., E.A .Adelberg., G.F. Brooks., J.S . Butel., dan L.N. Ornston. 1995. *Mikrobiologi Kedokteran. Edisi Ke 20 (Alih bahasa: Nugroho & R. F. Maulany)*. Jakarta: Penerbit Buku Kedokteran Egc.
- Khopkar, S.M. 2003. *Konsep Dasar Kimia Analitik*. Jakarta: UI Press.
- Kurniawati, L. 2010. *Pengaruh Pencahayaan LED*. Jakarta: Fakultas Teknik Universitas Indonesia.
- Noci, F., Riener, J., Walkling-Ribeiro, M., Cronin, D. A., Morgan, D. J., and Lyng, J. G. 2008. *Ultraviolet Irradiation And Pulsed Electric Fields (PEF) In A Hurdle Strategy For The Preservation Of Fresh Apple Juice*. *Journal of Food Engineering*. 85(1):141–146.
- Nurwani. 2010. Diakses pada tanggal 22 Desember 2014. Available From: [Http://Www.Slideshare.Net/Nurwani/Gelombang-Elektromagnetik](http://Www.Slideshare.Net/Nurwani/Gelombang-Elektromagnetik).
- Pantastico. 1989. *Fisiologi Pasca Panen, Penanganan dan Pemanfaatan Buah-Buahan dan Sayur-sayuran Tropika dan Subtropika*. Diterjemahkan oleh Kamaryani. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- PECSOK, R.L.; L.D. Shileds; T. Cairns; And I.G. Mcwilliam 1976. *Modern Methods Of Chemical Analysis*. 2nd Ed. John Wiley & Sons, Inc., New York.
- Pratiwi, S.T. 2008. *Mikrobiologi Farmasi*. Jakarta: Erlangga.
- Sastrohamidjojo, Hardjono. 1991. *Dasar-dasar Spektroskopi Edisi Kedua*. Yogyakarta: Liberty Yogyakarta.

Schubert E.F. 2006. *Light Emitting Diodes, 2nd* .USA.Ed., Cambridge University Press.

Serway, Remond A dan John W. Jewett, Jr. 2010. *Fisika untuk Sains dan Teknik Edisi 6*. Penerjemah Chriswan Sungkono. Jakarta: Salemba Teknika.

Setyaningsih, D., Anton A., dan Maya P. S. 2010. *Analisis Sensori untuk Industri Pangan dan Agro*. Bogor. IPB Press.

SNI 01-3719-1995. 2013. *Minuman Sari Buah*. Badan Standarisasi Nasional Peraturan BPOM No. 36.

Soelarso, R Bambang. 1997. *Budidaya Apel*. Yogyakarta: Kanisius.

Subowo. 1995. *Biologi Sel*. Bandung: Angkasa.

Trenggono. 2004. *Teknologi Pengemasan*. Universitas Kristen Petra. <http://www.pdfwizard.com>. Diakses tanggal 10 Februari 2014.

Winarno, F. G. 2004. *Kimia Pangan dan Gizi*. Jakarta. PT Gramedia Pustaka Utama.

Woollard, B. 2006. *Elektronika Praktis*. Jakarta: Pradnya Paramita.



LAMPIRAN

LAMPIRAN 1 Data Hasil Rata-Rata Jumlah Koloni Bakteri *Listeria monotogenes*

I (mW/cm ²)	Jumlah Bakteri (CFU/ml)					Kontrol
	10 Menit	20 Menit	30 Menit	40 Menit	50 Menit	
0	25,7x10 ⁸	26,2x10 ⁸	26,1x10 ⁸	26,9x10 ⁸	28,1x10 ⁸	25,2 x10 ⁸
50	19,2x10 ⁸	18,6x10 ⁸	16,9x10 ⁸	14,8x10 ⁸	10,9x10 ⁸	
75	17,9x10 ⁸	17,6x10 ⁸	15,1x10 ⁸	13,8x10 ⁸	11,6x10 ⁸	
100	16,1x10 ⁸	15,2x10 ⁸	13,8x10 ⁸	12 x10 ⁸	9,2 x10 ⁸	
125	11,4x10 ⁸	10,1x10 ⁸	8,1 x10 ⁸	6 x10 ⁸	3,4 x10 ⁸	



LAMPIRAN 2 Foto Alat Dan Bahan Penelitian

 <p>Jus Apel</p>	 <p>Aquades</p>
 <p>Media NA (<i>Nutrient Agar</i>)</p>	 <p>Media NB (<i>Nutrient Broth</i>)</p>
 <p>Autoklaf</p>	 <p>Inkubator</p>



pH meter



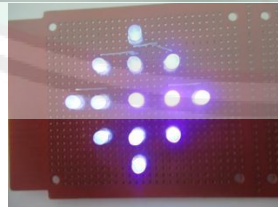
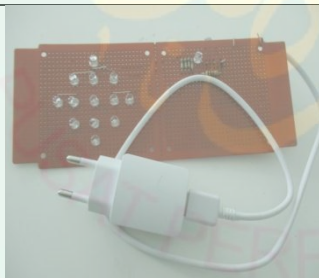
Lux meter



Dulsen



Coloni Counter



Rangkaian LED



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 : Khoirur Ro'isah
NIM : 12640045
Fakultas/ Jurusan : Sains dan Teknologi/ Fisika
Judul Skripsi : Pengaruh Pemaparan *Light Emitting Diode* (LED) Terhadap
Pertumbuhan Bakteri *Listeria monocytogenes*, pH, Dan Organoleptik
pada Jus Apel
Pembimbing I : Dr. M. Tirono, M.Si
Pembimbing II : Erika Rani, M.Si

No	Tanggal	HAL	Tanda Tangan
1	09 Nopember 2016	Konsultasi Bab I, II, III	
2	12 Pebruari 2016	ACC Bab I, II, III	
3	23 Pebruari 2017	Konsultasi Data Hasil	
4	08 Maret 2017	Konsultasi Data Hasil	
5	30 Agustus 2018	Konsultasi Bab IV	
6	12 September 2018	Konsultasi Kajian Agama	
7	15 Nopember 2018	ACC Bab IV	
8	15 Nopember 2018	ACC Kajian Agama	
9	21 Nopember 2018	Konsultasi Keseluruhan	
10	22 Nopember 2018	ACC Keseluruhan	

Malang, 30 Nopember 2018
Mengetahui,
Ketua Jurusan Fisika,

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