

**PENGARUH SINAR ULTRAVIOLET-C DAN INAKTIVASI
FOTODINAMIK UNTUK MENGHAMBAT PERTUMBUHAN BAKTERI
Staphylococcus aureus PADA BUAH APEL MANALAGI (*Malus sylvestris*)**

SKRIPSI

**Oleh:
AFIDATUN NISA'
NIM. 17640019**



**PROGRAM STUDI FISIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM
MALANG
2022**

**PENGARUH SINAR ULTRAVIOLET-C DAN INAKTIVASI
FOTODINAMIK UNTUK MENGHAMBAT PERTUMBUHAN BAKTERI
STAPHYLOCOCCUS AUREUS PADA BUAH APEL MANALAGI (*Malus
sylvestris*)**

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 :
Afidatun Nisa'
NIM. 17640019**

**PROGRAM STUDI FISIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM
MALANG
2022**

HALAMAN PERSETUJUAN

**PENGARUH SINAR ULTRAVIOLET-C DAN INAKTIVASI
FOTODINAMIK UNTUK MENGHAMBAT PERTUMBUHAN BAKTERI
STAPHYLOCOCCUS AUREUS PADA BUAH APEL MANALAGI (*Malus
sylvestris*)**

SKRIPSI

Oleh :
Afidatun Nisa'
NIM. 17640019

Telah diperiksa dan Disetujui untuk Diuji
Pada tanggal : 13 Mei 2022

Dosen Pembimbing I
Dosen Pembimbing I



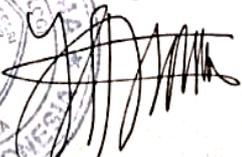
Dr. H. Agus Mulyono, M.Kes
~~NIP. 19750808 199903 1003~~
NIP. 19750808 199903 1 003

Dosen Pembimbing II
Dosen Pembimbing II



Dr. Erna Hastuti, M.Si
~~NIP. 198111192008012009~~
NIP. 198111192008012 009

Menyetujui,
Menyetujui,
Ketua Program Studi
Ketua Program Studi



Dr. Imam Tazi, M.Si
~~NIP. 19740730 200312 1 002~~
NIP. 19740730 200312 1 002

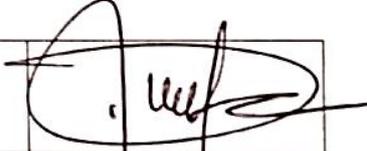
HALAMAN PENGESAHAN

**PENGARUH SINAR ULTRAVIOLET-C DAN INAKTIVASI FOTODINAMIK
UNTUK MENGHAMBAT PERTUMBUHAN BAKTERI *STAPHYLOCOCCUS
AUREUS* PADA BUAH APEL MANALAGI (*Malus sylvestris*)**

SKRIPSI

Oleh :
Afidatun Nisa'
NIM. 17640019

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

Ketua	:	<u>Dr. H. M. Tirono, M.Si</u> NIP. 19641211 199111 1 001	
Anggota I	:	<u>Farid Samsu Hananto, M.T</u> NIP. 19740513 200312 1 001	
Anggota II	:	<u>Dr. H. Agus Mulyono, M.Kes</u> NIP. 19750808 199903 1 003	
Anggota III	:	<u>Dr. Erna Hastuti, M.Si</u> NIP. 19811119 200801 2 009	

Mengesahkan,
Ketua Program Studi



Dr. Imam Tazi, M.Si
NIP. 19740730 200312 1 002

PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Afidatun Nisa'

NIM : 17640019

Jurusan : Fisika

Fakultas : Sains dan Teknologi

Judul Penelitian : Pengaruh Sinar Ultraviolet-C dan Inaktivasi Fotodinamik untuk Menghambat Pertumbuhan Bakteri *Staphylococcus aureus* pada Buah Apel Manalagi (*Malus sylvestris*)

Menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa hasil penelitian say aini 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 atau daftar Pustaka. Apabila ternyata hasil penelitian ini terbukti terdapat unsur-unsur jiplakan maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Malang, 20 Mei 2022
Yang Membuat Pernyataan



Afidatun Nisa'
NIM. 17640019

MOTTO

NAWAITU MEKSO AWAK LILLAHITA'ALA (KH.Marzuqi Mustamar)

لَا بَأْسَ نَحْتَاجُ لِلْوُقُوعِ أَحْيَانًا ، كَى نَشْعُرَ بِرَوْعَةِ الْوُقُوفِ

“Tak masalah jika sesekali kita terpaksa jatuh, agar bisa merasakan indahnya bangkit”

HALAMAN PERSEMBAHAN

Syukur Alhamdulillah aku munajatkan kepada Allah SWT.

Sholawat serta salam kuhaturkan kepada Baginda Rasulullah SAW.

Skripsi ini saya persembahkan untuk :

Keluargaku tercinta

Bapak, ibu dan adik – adik.

Keluarga besar bapak ibu dan saudara – saudara

Seluruh Civitas akademika Jurusan Fisika UIN Malang

Teman – teman Fisika 2017

Keluarga besar Ponpes Sabilurrosyad Gasek Malang

Ikatan Alumni Khairuddin UIN Malang

Pramaskha (Pramuka Madrasah Aliyah Khairuddin)

Terimakasih atas doa, dukungan, kasih sayang dan bantuannya yang telah

kalian berikan kepadaku.

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Allah SWT atas rahmat, taufik, hidayah, serta inayahNya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik. Sholawat serta salam penulis panjatkan kepada Rasulullah SAW yang telah menuntun manusia dari zaman kegelapan menuju zaman yang terang benderang, yakni *addinul islam*. Skripsi yang telah penulis susun berjudul **“Pengaruh Sinar Ultraviolet-C dan Inaktivasi Fotodinamik untuk Menghambat Pertumbuhan Bakteri *Staphylococcus aureus* terhadap Buah Apel Manalagi”**

Penulis menyadari bahwa penulisan skripsi ini tidak akan tersusun dengan baik tanpa adanya dukungan dan bantuan dari pihak-pihak yang terkait. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terimakasih kepada semua pihak yang telah membantu proses penyelesaian skripsi ini. Ucapan terimakasih penulis sampaikan kepada :

1. Prof. Dr. H. Zainuddin, M.H, selaku Rektor Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
2. Dr. Sri Harini, M.Si., selaku Dekan Fakultas Sains Dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
3. Dr. Imam Tazi, M.Si., selaku Ketua Jurusan Fisika Fakultas Sains Dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
4. Dr. H. Agus Mulyono, M.Kes selaku dosen pembimbing utama yang selalu sabar dan telah banyak meluangkan waktu untuk memberikan bimbingan kepada penulis
5. Dr. Erna Hastuti, M.Si selaku dosen integrasi yang selalu sabar dan telah meluangkan waktu untuk memberikan bimbingan kepada penulis.

6. Dr. H. M. Tirono, M.Si dan Khusnul Yakin, M.Si selaku dosen Biofisika yang telah memberi banyak saran-saran terbaik kepada penulis untuk penulisan skripsi ini.
7. Seluruh dosen Fisika Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang yang telah mendidik dan membimbing dengan baik.
8. Teristimewa untuk kedua orang tua saya Bapak Ahmad Sholeh dan Ibu Siti Riatul Badi'ah yang telah mendukung sepenuhnya dan curahan do'a untuk penulis
9. KH. Marzuqi Mustamar, M.Ag dan Ibu Nyai Dra.Hj. Sa'idah Mustaghfiroh selaku pengasuh dan orang tua pertama di Pondok Pesantren Sabilurrosyad Gasek Malang.
10. Adik adik serta saudara saudara yang selalu memberikan semangat dan do'a untuk penulis.
11. Teman-teman fisika Angkatan 2017 yang telah memebersamai selama masa studi S1 dan memberikan banyak bantuan. Khususnya Nia, Zaid, Ati, Deshinta, Maylita, Retno, Alfita, Isya, Nuril dan Eko.
12. Teman-teman Biofisika 2017 yang selalu memberikan dukungan dan memberikan banyak bantuan khususnya Ella dan Nadea.
13. Keluarga besar Pondok Pesantren Sabilurrosyad Gasek yang memberi banyak bantuan dan dukungan. Khususnya semua anggota kamar 29, SGMR dan tak lupa Mira, Nabila dan Nain.

Terimakasih tak terhingga kepada semua yang telah mendoakan, memberi banyak bantuan dan tak henti-hentinya memberi motivasi hingga tidak bisa saya

sebutkan satu persatu. Semoga Allah SWT membalas kebaikan kalian semua,
Aamiin..

Malang, 21 Desember 2021

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	iii
HALAMAN PERSETUJUAN	iii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iv
HALAMAN PERNYATAAN.....	v
MOTTO	vi
HALAMAN PERSEMBAHAN	vii
KATA PENGANTAR.....	viii
DAFTAR ISI.....	xii
DAFTAR GAMBAR.....	xiv
DAFTAR TABEL	xv
DAFTAR LAMPIRAN	xvi
ABSTRAK	xvii
ABSTRACT	xvii
مستخلص البحث.....	xvii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	6
1.3 Tujuan Penelitian	6
1.4 Batasan Masalah	7
1.5 Manfaat Penelitian	7
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	9
2.1 Apel manalagi (<i>Malus sylvestris</i>)	9
2.1.1 Klasifikasi	9
2.1.2 Morfologi	10
2.1.2 Vitamin C pada Buah Apel.....	10
2.2 Bakteri <i>Staphylococcus Aureus</i>	11
2.2.1 Klasifikasi <i>Staphylococcus aureus</i>	11
2.2.2 Morfologi <i>Staphylococcus aureus</i>	12
2.2.3 Patogenitas <i>Staphylococcus aureus</i>	13
2.3 Sinar Ultraviolet.....	14
2.3.1 Pengertian Sinar Ultraviolet.....	14
2.3.2 Intensitas Sinar Ultraviolet	15
2.4 Sinar Ultraviolet C (UV-C).....	17
2.4.1 Pengertian Sinar UV-C.....	17
2.4.2 Interaksi Sinar UV-C terhadap Sel Bakteri.....	18
2.4.3 Interaksi Sinar UV-C terhadap Inaktivasi Bakteri.....	20
2.4.4 Mekanisme UV-C dalam Inaktivasi Bakteri.....	20
2.4.5 Pengaruh waktu Paparan UV-C pada Bakteri.....	23
2.5 PDI (Photodynamic Inactivation)	23
2.5.1 Pengertian PDI.....	23
2.5.2 Prinsip PDI.....	24
2.5.3 Sensitizer.....	26

2.5.4	Cahaya LED (Light Emitting Diode) pada PDI.....	27
2.5.5	Mekanisme Inaktivasi Bakteri secara Fotodinamik.....	29
2.5.6	Efek PDI terhadap inaktivasi Bakteri	30
BAB III METODOLOGI		31
3.1	Jenis Penelitian.....	31
3.2	Waktu dan Tempat penelitian	31
3.3	Alat dan Bahan Penelitian.....	31
3.3.1	Alat-alat yang digunakan	31
3.3.2	Bahan yang digunakan.....	32
3.4	Rancangan Penelitian.....	33
3.4.1	Diagram Alir	35
3.5	Prosedur Penelitian	36
3.5.1	Persiapan Sampel Apel Manalagi	36
3.5.2	Sterilisasi Alat.....	36
3.5.3	Penyiapan Media NA (Nutrient Agar).....	36
3.5.4	Penumbuhan dan Peremajaan bakteri	36
3.5.5	Pemaparan UV-C	37
3.5.6	Tes Inaktivasi Fotodinamik yang Dimediasi Kurkumin.....	37
3.5.7	Perhitungan Koloni Bakteri	37
3.5.8	Penentuan Kadar Vitamin C	37
3.6	Teknik Pengumpulan Data.....	39
3.6.1	Data Pemaparan UV-C	39
3.6.2	Data Teknik PDI menggunakan LED	39
3.7	Teknik Analisis Data.....	40
BAB IV PEMBAHASAN		41
4.1	Hasil Penelitian	40
4.1.1	Pengaruh Intensitas dan Waktu pemaparan Sinar UV-C dan LED untuk menghambat pertumbuhan bakteri	42
4.1.2	Pengaruh Paparan Sinar UV-C dan LED pada PDI terhadap kadar vitamin C buah Apel	50
4.2	Pembahasan.....	52
4.2.1	Pengaruh Intensitas dan Waktu pemaparan Sinar UV-C dan LED untuk menghambat pertumbuhan bakteri.....	52
4.2.2	Pengaruh Paparan Sinar UV-C dan LED pada PDI terhadap kadar vitamin C buah Apel	56
4.3	Integrasi Penelitian dalam Al Qur'an	57
BAB V KESIMPULAN		62
5.1	Kesimpulan	62
5.2	Saran	40

DAFTAR PUSTAKA 64

LAMPIRAN 69

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Sampah berdasarkan Jenisnya.....	3
Gambar 2.1	Apel Manalagi.....	6
Gambar 2.2	Bakteri Staphylococcus aureus	8
Gambar 2.4	Efek efek Cahaya terhadap Sel Bakteri.....	14
Gambar 2.4	Struktur DNA yang Pecah Terpapar Sinar UV-C	16
Gambar 2.5	Efek Sinar UV-C pada DNA.....	17
Gambar 2.6	Proses Fotodinamika yang terjadi antara Cahaya, Sensitizer dan oksigen dalam Mekanisme Inaktivasi Sel	19
Gambar 4.1	Grafik Penurunan Jumlah Koloni Bakteri	51

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Klasifikasi Apel Manalagi	6
Tabel 2.2	Klasifikasi Bakteri Staphylococcus Aureus.....	8
Tabel 2.3	Pembagian Spektrum Elektromagnetik dari Sinar Ultraviolet	11
Tabel 3.1	Tabel Hasil Data Pemaparan UV-C dan LED	30
Tabel 4.1	Tabel Hasil Pemaparan UV-C dan LED.....	49
Tabel 4.2	Tabel Hasil Pemaparan LED Non Fotosensitizer	53
Tabel 4.3	Tabel Data Hasil Persentase Penurunan Jumlah Bakteri	55
Tabel 4.4	Tabel Data Hasil Pengukuran Kadar Vitamin C.....	58

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran I	Data Hasil Penelitian	6
Lampiran II	Perhitungan.....	8
Lampiran III	Hasil Analisis SPSS.....	11
Lampiran IV	Dokumentasi Penelitian.....	30

ABSTRAK

Nisa, Afidatun 2022. Pengaruh Sinar Ultraviolet-C dan Inaktivasi Fotodinamik untuk Menghambat Pertumbuhan Bakteri *Staphylococcus aureus* pada Buah Apel Manalagi (*Malus sylvestris*). Skripsi. Jurusan Fisika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim, Malang. Pembimbing : (I) Dr.H.Agus Mulyono.M.Kes. (II) Dr.Erna Hastuti, M.Si.

Kata kunci : Apel Manalagi, *Staphylococcus aureus*, UV-C , LED.

Salah satu buah-buahan yang rentan mengalami kontaminasi mikroorganisme adalah Apel. Buah Apel mengandung beberapa vitamin dan mineral yang bermanfaat bagi tubuh manusia. Salah satu jenis apel lokal yang digemari masyarakat khususnya di Jawa Timur adalah Apel Manalagi. Teknologi yang dapat membantu mengendalikan mikroorganisme salah satunya adalah radiasi. Cahaya dengan Panjang gelombang yang sesuai dapat mematikan bakteri, jamur, virus dll. Tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui pengaruh UV-C dan LED dengan Teknik inaktivasi fotodinamik dalam menghambat pertumbuhan bakteri *Staphylococcus aureus*. Penelitian ini menggunakan sampel apel berukuran 2x2x2 cm yang sudah terkontaminasi bakteri dan dipapari dengan UV-C dan LED . Terdapat 5 variasi waktu yaitu 10 ,15,20,25 dan 30 menit serta 2 variasi intensitas yaitu 130 Lux dan 150 Lux. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa lama waktu paparan dan intensitas dapat mempengaruhi penurunan jumlah koloni bakteri. Penurunan terbesar pada paparan UV-C dihasilkan dari intensitas cahaya 150 lux dan waktu paparan 30 menit dengan jumlah koloni $38,33 \times 10^3$ CFU/ml. sedangkan pada paparan LED, penurunan terbesar terjadi dengan intensitas cahaya 150 lux dan paparan 20 menit dengan jumlah koloni bakteri $20,67 \times 10^3$ CFU/ml. Persentase penurunan jumlah koloni pada keduanya masing-masing sebesar 78% dan 85%.

ABSTRACT

Nisa, Afidatun 2022. **Effect of Ultraviolet C Light and Photodynamic Inactivation to Inhibit the Growth of *Staphylococcus aureus* Bacteria on Manalagi Apples (*Malus sylvestris*)**. Thesis. Department of Physics, Faculty of Science and Technology, Maulana Malik Ibrahim State Islamic University of Malang. Advisor: (I) Dr. H. Agus Mulyono, M.Kes. (II) Dr. Erna Hastuti, M.Si.

Keywords : Manalagi Apples, *Staphylococcus aureus*, UV-C , LED.

One of the fruits that are susceptible to microorganism contamination is apples. Apples contain several vitamins and minerals that are beneficial for the human body. One type of local apple that is popular with the community, especially in East Java, is the Manalagi Apple. One of the technologies that can help control microorganisms is radiation. Light with a suitable wavelength can kill bacteria, fungi, viruses etc. The purpose of this study was to determine the effect of UV-C and LED with photodynamic inactivation technique in inhibiting the growth of *Staphylococcus aureus* bacteria. This study used a sample of apples measuring 2x2x2 cm which had been contaminated with bacteria and exposed to UV-C and LED. There are 5 variations in time, namely 10, 15, 20, 25 and 30 minutes and 2 variations in intensity, namely 130 Lux and 150 Lux. The results of this study indicate that the length of exposure time and intensity can affect the decrease in the number of bacterial colonies. The greatest decrease in UV-C exposure resulted from a light intensity of 150 lux and an exposure time of 30 minutes with the number of colonies of 38.33×10^3 CFU/ml. while on LED exposure, the largest decrease occurred with light intensity of 150 lux and exposure of 20 minutes with the number of bacterial colonies 20.67×10^3 CFU/ml. The percentage reduction in the number of colonies in both was 78% and 85%, respectively.

مستخلص البحث

النسأ ، افيداة ٢٠٢٢. تأثير الضوء فوق البنفسجي- C والتثبيط الضوئي الديناميكي لمنع نمو بكتيريا *Staphylococcus aureus* على تفاح (Manalagi (*Malus sylvestris*). فرضية. قسم الفيزياء ، كلية العلوم والتكنولوجيا ، جامعة مولانا مالك إبراهيم الدولة الإسلامية ، مالانج. المشرف: (I) د. أكوس موليانا الحج ، ماجستير. (II) د. إرنا هاستوتي ، ماجستير.

الكلمات المفتاحية: مانالاجي تفاح ، المكورات العنقودية الذهبية ، UV-C ، LED.

يعتبر التفاح من الفواكه المعرضة للتلوث بالكائنات الحية الدقيقة. يحتوي التفاح على العديد من الفيتامينات والمعادن المفيدة لجسم الإنسان. نوع واحد من التفاح المحلي الذي يحظى بشعبية لدى المجتمع ، وخاصة في جاوة الشرقية ، هو Manalagi Apple. يعد الإشعاع أحد التقنيات التي يمكن أن تساعد في التحكم في الكائنات الحية الدقيقة. يمكن للضوء ذي الطول الموجي المناسب أن يقتل البكتيريا والفطريات والفيروسات وما إلى ذلك. الهدف من هذه الدراسة هو تحديد تأثير الأشعة فوق البنفسجية C - و LED بتقنية التعطيل الضوئي في تثبيط نمو بكتيريا *Staphylococcus aureus*. استخدمت هذه الدراسة عينة من التفاح 2x2x2 سم الملوثة بالبكتيريا وتعرضت للأشعة فوق البنفسجية C و LED. هناك 5 اختلافات في الوقت ، وهي 10 و 15 و 20 و 25 و 30 دقيقة و 2 اختلاف في الشدة ، وهما 130 لوكس و 150 لوكس. تشير نتائج هذه الدراسة إلى أن طول وقت التعرض وشدته يمكن أن يقلل من عدد المستعمرات البكتيرية بمقدار 38.33×10^3 CFU / 10 مل عند التعرض للأشعة فوق البنفسجية ، و 20.67×10^3 CFU / 10 مل عند تعرض LED. كانت النسبة المئوية للانخفاض في عدد الطوائف في كليهما 78٪ و 85٪ على التوالي .

BAB I

PENDAHULUAN

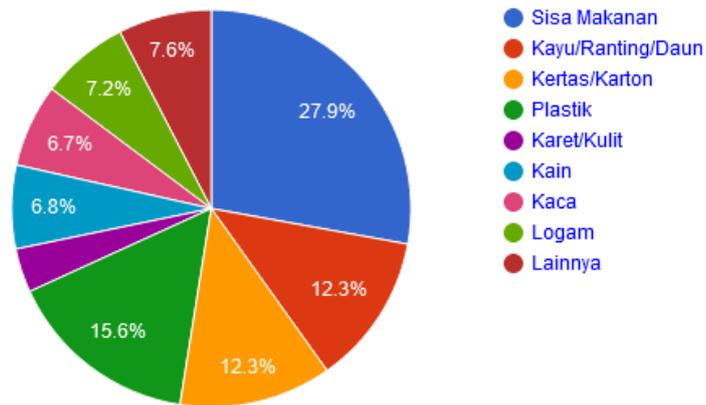
1.1.Latar Belakang

Permasalahan di bidang pangan terdapat diberbagai hal. Diantaranya saat panen, penyimpanan setelah panen, dan pendistribusian ke konsumen (Verma, 2019). Salah satu permasalahannya yaitu buah pasca panen yang terkontaminasi penyakit. Dari sekian buah yang diproduksi saat panen beberapa mengalami pembusukan sehingga mengakibatkan kerugian. Salah satu faktor yang mengakibatkan pembusukan tersebut adalah adanya kontaminasi mikroorganisme pathogen yang berlebihan (Hussain, 2013).

Salah satu buah-buahan yang rentan mengalami kontaminasi mikroorganisme adalah buah apel. Apel merupakan buah yang cukup digemari oleh masyarakat Indonesia. Buah apel pada umumnya dikonsumsi untuk memenuhi kebutuhan serat manusia. Menurut Badan Pusat Statistik Produksi Tanaman (2020), produksi buah apel khususnya di Jawa Timur mencapai 500.000 ton per tahun. Salah satu jenis apel lokal didaerah Jawa Timur yang digemari masyarakat adalah Apel Malang (Satuhu, 2004).

Tingginya angka produksi pada buah apel akan menimbulkan dampak negatif apabila tidak 100% buah pasca panen hasil produksi layak untuk dikonsumsi. Beberapa buah menjadi tidak layak konsumsi diakibatkan beberapa hal, salah satunya adalah terkontaminasi mikroorganisme pathogen yang berlebihan (Elias, 2014). Buah tersebut akan menjadi sampah organik dan menyebabkan pencemaran lingkungan. Berdasarkan grafik pada Sistem Informasi Pengelolaan

Sampah Nasional (SIPSN) – Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, sampah sisa makanan menduduki peringkat 1 dengan total 27,9%.



Gambar1.1 persentase sampah dilihat dari jenisnya (Kementerian Lingkungan Hidup, 2020)

Sampah dari buah buahan yang busuk atau tidak layak dikonsumsi merupakan salah satu dari sampah organik. Sampah organik sering diabaikan dan dianggap aman karena bisa terurai. Disisi lain, sampah organik memiliki potensi negatif, salah satunya adalah mengganggu kesehatan manusia. Tumpukan sampah organik adalah habitat yang disukai oleh lalat, kecoa, tikus dan nyamuk yang bisa membawa bermacam-macam penyakit menular kepada manusia melalui bakteri dan virus. Penyakit lainnya dengan resiko lebih tinggi diantaranya infeksi kulit, infeksi salmonella, dan hepatitis A (Kanisius, 2011).

Dalam Islam telah ditegaskan bahwa Allah SWT menjadikan manusia sebagai khalifah di bumi (Khalifah fi al ardh) untuk bertanggung jawab menjaga bumi. Berdasarkan hal itu, manusia dianjurkan untuk melakukan usaha-usaha guna mengurangi sampah organik di lingkungan sekitar agar tidak menimbulkan dampak

negatif. Dalam Al Qur'an dijelaskan bahwa manusia bertanggung jawab menjaga lingkungan, hal ini termaktub dalam QS Al Qasas ayat 77 :

وَأَتَّبِعْ فِي مَآءِ آتَاكَ اللَّهُ الدَّارَ الْآخِرَةَ وَلَا تَنْسَ نَصِيبَكَ مِنَ الدُّنْيَا وَأَحْسِنَ كَمَا أَحْسَنَ اللَّهُ إِلَيْكَ وَلَا تَبْغِ الْفُسَادَ فِي الْأَرْضِ إِنَّ اللَّهَ لَا يُحِبُّ الْمُفْسِدِينَ

Artinya : *“Dan carilah pada apa yang telah dianugerahkan Allah kepadamu (kebahagiaan) negeri akhirat, dan janganlah kamu melupakan bahagianmu dari (kenikmatan) duniawi dan berbuat baiklah (kepada orang lain) sebagaimana Allah telah berbuat baik, kepadamu, dan janganlah kamu berbuat kerusakan di (muka) bumi. Sesungguhnya Allah tidak menyukai orang-orang yang berbuat kerusakan”.*

Dikutip dari Tafsir Ibnu Katsir Darud Thayyibah Linnasyari Wat Tauzi', Jilid 8, Hal. 254 dijelaskan bahwa Allah menciptakan bumi dan seisinya agar manusia menjaga dan memeliharanya. Jika terjadi suatu keburukan pada ciptaan Allah, maka manusia (yang berakal) yang bertanggung jawab atasnya. Berkaitan dengan hal tersebut dapat diketahui bahwasannya syari'at islam mengajarkan hambaNya melakukan usaha -usaha untuk menjaga lingkungan (Hussain, 2013).

Mengurangi sampah organik yang dihasilkan dari buah yang tidak layak konsumsi merupakan salah satu dari usaha untuk memperkecil tingkat pencemaran lingkungan. Maka dari itu dilakukan strategi dekontaminasi pada buah apel sebelum mengalami pembusukan akibat kontaminasi mikroorganisme agar tidak menjadi sampah organik. Hal ini diharapkan dapat mengurangi persentase angka sampah organik dari buah apel yang tidak layak konsumsi.

Berkaitan dengan hal diatas dapat diketahui bahwasannya islam mengajarkan hambaNya untuk melakukan usaha -usaha guna mencegah kerusakan lingkungan. Maka dari itu dilakukan strategi dekontaminasi pada buah apel sebelum mengalami pembusukan akibat kontaminasi mikroorganisme agar tidak menjadi sampah

makanan. Hal ini dapat mengurangi jumlah sampah organik dari buah apel yang tidak layak konsumsi yang menyebabkan kerusakan lingkungan.

Strategi dekontaminasi diterapkan pada buah apel yang terkontaminasi mikroorganisme patogen untuk mengontrol dan memastikan aman dari mikroorganisme yang merugikan (Deng,2019). Strategi yang dilakukan seperti mencuci makanan dengan larutan kimia (seperti klorin dan asam klorida), proses termal (seperti pasteurisasi), metode fisik (seperti iradiasi) dan perawatan pengawetan lainnya (Godburn,2013). Namun, keberhasilan strategi dekontaminasi ini harus dibatasi terlebih pada penggunaan zat aditif. Penggunaan zat aditif yang berlebihan dapat beresiko fatal bagi kesehatan masyarakat dan lingkungan (Correa,2020).

Salah satu teknologi yang dapat membantu pengendalian mikroorganisme adalah desinfeksi menggunakan teknik fotonik yaitu dengan pemaparan radiasi Ultraviolet-C (UV-C). Iradiasi UV-C dengan menggunakan panjang gelombang 254 nm adalah teknik yang ampuh untuk mendisinfeksi permukaan (Correa,2017) dan air (Oguma,2016) dan telah banyak digunakan untuk memastikan keamanan lingkungan dan pangan (Gayan,2013). Cahaya dalam rentang panjang gelombang 250–260 nm dapat mematikan mikroorganisme, seperti bakteri, jamur, ragi, virus, dan protozoa (Moura,2018).

Teknik lain yang bisa dilakukan untuk membunuh mikroorganisme adalah *Photodynamic Inactivation* (PDI). PDI atau inaktivasi fotodinamik merupakan teknologi non-termal yang mengandalkan simultan interaksi fotosensitizer tidak beracun (PS), cahaya yang sesuai panjang gelombang, dan molekul oksigen (O₂) untuk membunuh patogen seperti bakteri, jamur, virus, dan parasit Gram-positif

dan Gram-negatif (Hamblin,2016). Akhir- akhir ini PDI digunakan sebagai pendekatan yang menjanjikan untuk dekontaminasi makanan dengan tidak beresiko besar pada pangan tersebut (Tortik,2014).

Pada tahun 2020, Correa telah melakukan penelitian mengenai efektivitas sinar UV-C dan fotodinamik inaktivasi yang dimediasi pada kurkumin pada keamanan pangan mikrobiologi (studi pada daging dan buah). Sampel penelitian ini yaitu tiga jenis daging (sapi, ayam, dan babi) dan satu jenis buah apel lokal yang menggunakan bakteri *Escherica collie* dan *Stepococcus auerus*. Sampel direndam dalam suspensi bakteri E. coli dan S. aureus (107CFU / mL), kemudian diberi penyinaran sinar UV-C dan dilakukan tes inaktivasi fotodinamik (PDI).

Radiasi UV-C dan PDI pada penelitian Correa (2020) berpengaruh dalam menurunkan bakteri *Escherica collie* dan *Staphylococcus aureus*. Waktu paparan yang digunakan yaitu 3 menit, 5 menit, 7 menit dan 10 menit. Hasilnya, menunjukkan bahwa penyinaran UV-C dan PDI menghasilkan efek anti-mikroba terbesar pada apel sebesar (2.0 ± 0.4) log₁₀ CFU / mL pada paparan 10 menit. Berdasarkan literatur tersebut, dilakukan penelitian radiasi UV-C dan PDI pada daging buah apel yang terkontaminasi bakteri *Staphylococcus aureus*. Variasi waktu yang digunakan yaitu 10 menit, 15 menit, 20 menit, 25 menit dan 30 menit. Setelah mengetahui penurunan jumlah koloni bakteri, dilakukan analisis data dengan SPSS Faktorial dan uji lanjut DMRT. Kemudian, untuk mengetahui kualitas sampel apel setelah paparan, dilakukan pengukuran kadar vitamin C menggunakan spektrofotometri UV Vis.

1.2. Rumusan Masalah

Dari uraian yang melatarbelakangi penelitian ini, maka permasalahan yang muncul adalah:

1. Bagaimana pengaruh intensitas dan waktu pemaparan sinar UV-C terhadap pertumbuhan bakteri *Staphylococcus aureus* pada buah apel manalagi (*Malus sylvestris*) ?
2. Bagaimana pengaruh intensitas dan waktu pemaparan PDI terhadap pertumbuhan bakteri terhadap pertumbuhan *Staphylococcus aureus* pada buah apel manalagi (*Malus sylvestris*) ?
3. Bagaimana pengaruh intensitas paparan sinar UV-C dan PDI terhadap kadar Vitamin C pada buah apel setelah terkontaminasi bakteri *Staphylococcus aureus* ?

1.3. Tujuan Penelitian

Dari rumusan masalah yang telah diuraikan di atas, maka tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Mengetahui intensitas dan waktu pemaparan sinar UV-C terhadap pertumbuhan bakteri *Staphylococcus aureus* pada buah apel manalagi (*Malus sylvestris*).
2. Mengetahui intensitas dan waktu pemaparan PDI terhadap pertumbuhan bakteri *Staphylococcus aureus* pada buah apel manalagi (*Malus sylvestris*).
3. Mengetahui pengaruh intensitas paparan sinar UV-C dan PDI terhadap kadar Vitamin C pada buah apel setelah terkontaminasi bakteri *Staphylococcus aureus*.

1.4. Batasan Masalah

Untuk fokus pada pembahasan dan permasalahan yang ada dalam penelitian ini, perlu adanya batasan masalah pada setiap penelitian. Adapun Batasan masalah pada penelitian ini adalah :

1. Sampel yang digunakan pada penelitian ini adalah buah Apel Manalagi atau Apel Malang
2. Sampel yang digunakan untuk mengetahui efisiensi paparan UV-C dan PDI adalah Bakteri *Staphylococcus aureus*
3. Waktu pemaparan UV-C pada buah apel dengan daya lampu 40 watt dan waktu paparan 10 menit, 15 menit, 20 menit, 25 menit dan 30 menit
4. Radiasi PDI dilakukan dengan LED 450 nm dengan variasi waktu pemaparan 10 menit, 15 menit, 20 menit, 25 menit dan 30 menit
5. Intensitas pada masing-masing pemaparan UV-C dan PDI yang digunakan adalah 130 lux dan 150 lux.
6. Pengukuran dilakukan dengan menghitung unit pembentuk koloni (CFU) pada bakteri *Staphylococcus aureus*.
7. Pengukuran terakhir dilakukan uji kadar Vitamin C pada sampel menggunakan spektrofotometri UV-Vis

1.5. Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah:

1. Memberi informasi tentang pengaruh sinar UV-C dan PDI untuk membunuh bakteri *Staphylococcus aureus* pada buah apel manalagi (*Malus sylvestris*)

2. Memberi informasi tentang intensitas dan waktu pemaparan sinar UV-C yang optimal untuk membunuh bakteri *Staphylococcus aureus* pada buah apel manalagi (*Malus sylvestris*)
3. Memberi informasi tentang intensitas dan waktu pemaparan PDI yang optimal untuk membunuh bakteri *Staphylococcus aureus* pada buah apel manalagi (*Malus sylvestris*)
4. Memberi informasi tentang pengaruh paparan UV-C dan PDI terhadap yang optimal untuk membunuh bakteri *Staphylococcus aureus* pada buah apel manalagi (*Malus sylvestris*)

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Apel manalagi (*Malus sylvestris*)

2.1.1 Klasifikasi

Apel manalagi dapat diklasifikasikan seperti yang ditunjukkan pada table berikut (USDA, 2020):

Tabel 2.1 Klasifikasi Apel Manalagi

Kingdom	Plantae
Devisi	Magnoliophyta
Kelas	Magnoliopsida
Sub Kelas	Rosidae
Bangsa	Rosales
Suku	Rosaceae
Marga	Malus
Jenis	Malus Sylvestris



Gambar 2.1 Apel Manalagi (Anonim, 2020)

2.1.2 Morfologi

Apel mempunyai Bahasa latin (*Malus sylvestris mill*), yang merupakan tanaman tahunan yang berasal dari daerah subtropis. Di Indonesia apel sudah ditanam sejak tahun 1934, dan dapat tumbuh hingga berbuah dengan baik. Apel 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 (Soelarso, 1997).

Apel manalagi mempunyai rasa manis dan beraroma harum. Bentuk buahnya bulat dan kulitnya berpori putih. Jika dibungkus kulit buahnya berwarna hijau muda kekuningan, sedangkan jika dibiarkan terbuka warnanya akan tetap putih. Daging buahnya berwarna putih, serta tidak memiliki banyak kandungan air. (Nurchayati, 2014) .

Apel manalagi banyak mengandung vitamin, seperti vitamin A,B dan C serta mineral seperti kalsium, fosfor, zat besi, klor, magnesium, natrium, potassium dan silikon. Apel jenis ini merupakan salah satu apel yang banyak dikonsumsi masyarakat Indonesia, karena rasanya yang manis, enak, mudah didapat dan harganya cukup terjangkau (Wulandari, 2012).

2.1.3 Vitamin C pada buah apel

Vitamin C adalah nutrisi penting bagi manusia, buah-buahan dan hewan. Vitamin C dari alam bisa ditemukan pada buah-buahan ataupun sayuran. Contoh buah-buahan lokal yang diketahui kaya akan vitamin C adalah Lemon lokal, jeruk nipis, Jambu Biji, Apel Malang, dan Nanas (Almaitser, 2001).

Buah apel memiliki kandungan vitamin C sebanyak 2 mg/100g. Selain vitamin C, buah apel juga mengandung senyawa fenol seperti quercetin dan epicatechin yang berfungsi sebagai antioksidan dan dapat mengurangi risiko terkena kanker. Sebuah studi membuktikan bahwa tikus yang diberi ekstrak apel lebih rendah terkena risiko kanker usus sebesar 43% (Fauziah, 2015).

Terdapat beberapa metode untuk mengetahui kadar vitamin C pada suatu bahan pangan. Diantaranya adalah metode titrasi, metode spektrofotometri, metode titrasi iodium dan metode DPPH (Tehinamuti, 2000).

2.2 Bakteri *Staphylococcus aureus*

Staphylococcus aureus atau (S.aureus) berasal dari kata staphyle yang berarti kelompok buah anggur dan kokus yang berarti benih bulat (Freeman et al, 2006). Bakteri ini berbentuk kokus dengan suhu optimal pertumbuhan 37 sampai 40 derajat C, Ph optimum 6.0 sampai 8.0 dan aktivitas air (aw) minimum 0.86 (Jay, 1992). Bakteri ini termasuk dalam bakteri gram positif. Pada umumnya, bakteri ini tumbuh berpasangan dan berkelompok seperti anggur (Habib dkk, 2015).

2.2.1 Klasifikasi *Staphylococcus aureus*

Menurut Capuccino dan Natalie (2017), klasifikasi taksonomi bakteri *Staphylococcus aureus* dapat ditunjukkan pada tabel berikut:

Tabel 2.2 Klasifikasi Bakteri *Staphylococcus aureus*.

Kingdom	Monera
Devisi	Firmicutes
Kelas	Bacili
Ordo	Bacillales
Familia	Staphylococcaceae
Genus	Staphylococcus
Spesies	Staphylococcus aureus

Gambar 2.2. Bakteri *Staphylococcus aureus* (Jawetz, 2012)

2.2.2 Morfologi *S.aureus*

S.aureus merupakan bakteri gram positif yang berbentuk bulat dengan diameter 0,5-0,7 μm dan mempunyai dinding sel yang diantaranya terdiri dari peptidoglikan, fibronektin, binding protein, clumping factors dan kolagen binding protein. Komponen utama dinding sel adalah peptidoglikan yang Menyusun hampir 50% dari dinding sel bakteri (Haddadin,2002).

S.aureus pada umumnya tumbuh dengan optimum pada suhu 37 derajat C dengan waktu pembelahan 0,47 jam. Infeksi serius akan terjadi Ketika resistensi inang melemah karena adanya perubahan hormone, adanya penyakit, luka, atau

perlakuan menggunakan steroid atau obat lain yang mempengaruhi imunitas sehingga terjadi pelemahan inang (Robert, 2010).

S.aureus tumbuh dengan mudah pada kebanyakan pembenihan bakteri pada keadaan aerobik atau mikroaerofilik. Pada lempeng agar, koloni *S.aureus* berbentuk bulat, licin, cembung dan mengkilat. Koloni *S.aureus* berwarna abu-abu sampai kuning tua keemasan (Brooks et al,2001). *S.aureus* juga membawa sebuah enzim katalase dimana akan mengubah hydrogen peroksida menjadi air dan oksigen (Jawetz et al, 2001).

2.2.3 Patogenitas *Staphylococcus aureus*

S.aureus merupakan bakteri yang dapat ditemukan diberbagai tempat. Bakteri ini termasuk pada flora normal kulit, saluran pencernaan dan pernafasan. *S.aureus* pathogen bersifat invasive yang mengakibatkan hemolisis dan koagulasi (Warsa, 1994) Infeksi yang diakibatkan oleh bakteri *S.aureus* yaitu penyakit meningitis, penyakit kulit (bisul, jerawat), infeksi luka, impetigo, phlebitis, infeksi saluran kemih, mastitis, pneumonia, osteomyelitis dan endocarditis (Tyan et al, 1994).

S.aureus dapat menyebabkan keracunan makanan apabila terjadi kontaminasi enteroksin pada bakteri tersebut. Gejala keracunan yang diakibatkan oleh bakteri ini memiliki waktu onset yang pesat dan berbahaya pada kondisi imun dan banyaknya toksin yang masuk. Toksin dengan jumlah 1,0 mg/gr dapat menyebabkan keracunan dengan efek rasa mual, diare, dan muntah-muntah (Ryan et al, 1994). Gejala umum keracunan SE ditandai dengan mual, muntah, kram perut dan diare yang terjadi selama 24 - 48 jam, masa penyembuhan biasanya terjadi antara 1-3 hari (Balaban& Rasooly, 2000).

2.3 Sinar Ultraviolet

2.3.1 Pengertian Sinar Ultraviolet

Ultraviolet merupakan suatu bagian dari spektrum elektromagnetik dan tidak membutuhkan medium untuk merambat. Ultraviolet mempunyai rentang Panjang gelombang antara 100-400 nm yang berada diantara spektrum sinar X dan cahaya tampak (EPA, 1999). UV-A pada rentang 315-400 nm, UV-B pada rentang 280- 315 nm, UV-C pada rentang 200-280 nm, serta UV-Vakum pada rentang 100-2— nm yang dapat diserap oleh semua bahan dan dapat diteruskan pada kondisi vakum (Koutchma et al., 2009)

Tabel.3 Pembagian Spektrum Elektromagnetik dari Sinar Ultraviolet

Nama	Panjang gelombang (nm)	Energi per foton
Ultraviolet A (UV-A)	400-315 nm	3.10 - 3.94 eV
<i>Near</i> (NUV)	400-300 nm	2.10 - 4.13 eV
Ultraviolet B (UV-B)	315-280 nm	3.94 - 4.43 eV
<i>Middle</i> (MUV)	300-200 nm	4.13 – 6.20 eV
Ultraviolet C (UV-C)	280-100 nm	4.43 – 12.4 eV
<i>Far</i> (FUV)	200-122 nm	6.20 – 10.2 eV
<i>Vacuum</i> (VUV)	200-10 nm	6.20 – 12.4 eV

Sumber terbesar radiasi UV berasal dari matahari. Sinar yang dipancarkan matahari pada hakikatnya terdiri atas gelombang-gelombang elektromagnetik, mulai dari sinar radio sampai sinar X. Sinar yang paling mendominasi adalah sinar tampak dan masing masing sinar inframerah serta sinar ultraviolet (El - Nagggar, 2010). Matahari yang merupakan sumber utama dari sinar UV yang dapat memancarkan sinar sendiri. Teori tentang sinar yang berasal dari matahari termaktub dalam Q.S An Nur (24:40) yang berbunyi :

أَوْ كَظُلُمَاتٍ فِي بَحْرٍ لُجِّيٍّ يَغْشَاهُ مَوْجٌ مِّنْ فَوْقِهِ مَوْجٌ مِّنْ فَوْقِهِ سَحَابٌ ۗ ظُلُمَاتٌ بَعْضُهَا فَوْقَ بَعْضٍ إِذَا أَخْرَجَ يَدَهُ لَمْ
يَكِدْ يَرُهَا ۗ وَمَنْ لَّمْ يَجْعَلِ اللَّهُ لَهُ نُورًا فَمَا لَهُ مِنْ نُّورٍ

Artinya : “Atau seperti gelap gulita di lautan yang dalam, yang diliputi oleh ombak, yang di atasnya ombak (pula), di atasnya (lagi) awan; gelap gulita yang tindih-bertindih, apabila dia mengeluarkan tangannya, tiadalah dia dapat melihatnya, (dan) barangsiapa yang tiada diberi cahaya (petunjuk) oleh Allah tiadalah dia mempunyai cahaya sedikitpun”

Kata نُورٌ berarti sinar atau cahaya. Dalam tafsir Kementerian Agama RI disebutkan bahwa Allah menunjukkan bukti kebesaran dan kekuasaan-Nya melalui ciptaanNya yaitu sinar, agar manusia beribadah kepada-Nya dan mengakui keesaan-Nya (Masita, 2015). Sinar matahari merupakan sumber terbesar dari sinar UV. Sinar UV dari matahari dapat mengionisasi partikel-partikel di atmosfer yang berada pada ketinggian 80 km yang disebut lapisan ionosfer. Lapisan O3 di atmosfer dapat menyerap sinar UV agar tidak sampai ke permukaan bumi. Di era saat ini, sinar UV yang bersumber dari matahari memiliki banyak manfaat diantaranya untuk memecah molekul DNA pada mikroorganisme dan sterilisasi (Sibuiran, 2020).

2.3.2 Intensitas Sinar Ultraviolet

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

Intensitas penerangan atau luminansi di suatu bidang kerja yaitu fluks cahaya yang jatuh pada m² dari bidang itu. Satuan untuk intensitas penerangan adalah lux (lx), dengan lambang E, maka 1 lux = 1 lumen/m². Jika suatu bidang

yang mempunyai luas A m². Alat yang digunakan untuk mengukur intensitas cahaya yaitu luxmeter. Bagian luxmeter yang peka terhadap cahaya diarahkan pada pantulan datangnya cahaya dan besarnya intensitas dapat dilihat pada skala. Luxmeter bekerja dengan sensor cahaya (Wijayanto dkk, 2012)

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

Besarnya intensitas bergantung pada sejumlah lumen (satuan fluks cahaya) dan pancaran cahaya yang berasal dari satu area yang melewati sudut pancaran. Besarnya sudut pancaran cahaya dapat dituliskan (Veramika et al, 2016) :

$$\Omega = \frac{A}{R^2} \quad (2.1)$$

Keterangan :

A = Luas permukaan yang terpapar cahaya (m²)

R = Jari-jari bola (m)

Ω = Sudut pancaran (steradian)

Besarnya nilai intensitas cahaya dapat dinyatakan dengan rumus :

$$I = \frac{F}{\Omega} \quad (2.2)$$

Keterangan :

F = Fluks luminous (lumen)

Ω = Sudut pancaran (steradian)

I = Lumen/steradian (candela)

Lumen merupakan satuan fluks cahaya yang dipancarkan oleh sumber cahaya. Kuat penerangan cahaya dapat diperoleh jika fluks cahaya (F) lumen berada pada arah tegak lurus (Veramika et al, 2016) :

$$K = \frac{F}{A} \quad (2.3)$$

K merupakan kuat penerangan yang mana satuannya adalah lumen/m².

Dimana untuk luas permukaan sferis $4\pi R^2$ yang terpapar cahaya maka :

$$F_t = 4\pi I \quad (2.4)$$

Ketika sumber cahaya memancarkan konsetris, besarnya luas permukaan yang ditembus oleh fluks cahaya adalah $4\pi R^2$, maka persamaan untuk kuat penerangan (K):

$$K = \frac{4\pi I}{4\pi R^2} \quad (2.5)$$

$$K = \frac{I}{R^2} \quad (2.6)$$

Kuat penerangan akan bernilai sebanding dengan intensitas cahaya ($K \sim I$) ketika jarak konstan. Maka, kuat penerangan dapat dijadikan sebagai ukuran intensitas cahaya yang berasal dari sumber cahaya yang bersatuan Lux.

Intensitas radiasi merupakan energi atau jumlah radiasi persatuan waktu persatuan luas, atau dapat dikatakan intensitas (I) merupakan perkalian dari kuantitas (Φ) dan energi (E), yang dapat dirumuskan :

$$I = \Phi \cdot E \quad (2.7)$$

2.4 Sinar Ultraviolet C (UV-C)

2.4.1 Pengertian Sinar UV-C

Cahaya Ultraviolet (UV) yang memiliki panjang gelombang 280-100 nm diklasifikasikan sebagai UV-C. Menurut Muller (2011) bahwa pemakaian

iradiasi dalam dunia pangan sudah digunakan secara luas dalam proses preventif atau pengawetan buah segar maupun produk olahan. Semakin pendek panjang gelombang dalam sinar UV, maka semakin besar efeknya dalam membunuh mikroba. Sinar UV-C memiliki panjang gelombang yang paling rendah daripada UV-A dan UV-B. Keuntungan UV tidak mempengaruhi kelembaban atau suhu makanan tidak mempengaruhi rasa dan warna dari produk akhir, serta lebih ekonomis (Artes, 2009)

2.4.2 Interaksi Sinar UV-C terhadap Sel Bakteri

Upaya mengendalikan pertumbuhan bakteri pathogen salah satunya dengan menggunakan radiasi sinar ultraviolet (UV) – C (Ariyadi, 2009). Sinar ultraviolet khususnya UV-C merupakan pembunuh mikroba yang sangat kuat, dengan panjang gelombang efektif berkisar antara 100-280nm. Energi yang dibawanya mudah diserap partikel, sehingga mengakibatkan gangguan pada organisme hidup, mulai dari disfungsi organ hingga kerusakan DNA dan RNA (Jay, 1996)

Kadaan energi pada molekul akan terkuantisasi, oleh karena itu absorpsi foton hanya akan terjadi saat energinya $E=h\nu$, sesuai dengan perbedaan energi antara daerah yang terkuantisasi. Absorpsi foton oleh jaringan yang menyebabkan perubahan terkuantisasi pada jarak antara muatan. Komponen molekul yang diserap oleh jaringan yaitu deoxyribonucleic acid (DNA) dan ribonucleic acid (RNA) (Steiner, 2011). Secara eksperimen, jika sinar laser dilewatkan penyerap setebal x maka intensitasnya berkurang secara eksponensial dengan bertambahnya ketebalan penyerap, secara matematik dapat ditulis :

$$I = I_0 - \alpha x \quad (2.8)$$

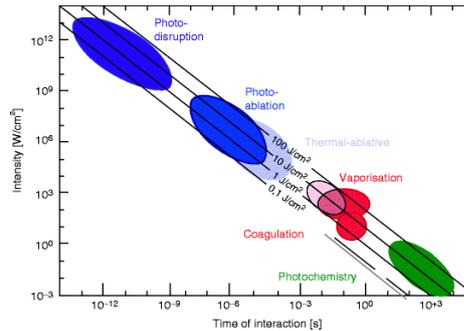
Keterangan :

I = Intensitas cahaya (W/cm^2)

I_0 = Intensitas yang lewat dengan ketebalan nol (W/cm^2)

α = Koefisien penyerap (m^{-1})

x = Tebal penyerap (m)



Gambar 2.3. Efek efek Cahaya terhadap Sel Bakteri (Bulnois, 1986)

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

- a) Fotokimia : waktu $100-10^{+3}$ s; intensitas $10^{-3}-100\text{W}/\text{cm}^2$
- b) Vaporisasi dan Koagulasi : waktu $10^{-3}-100$ s; intensitas $100-10^{-3}\text{W}/\text{cm}^2$
- c) Ablasi-termal dan Fotoablasi: waktu $10^{-9} - 10^{-3}$ s; intensitas $10^3-10^9\text{W}/\text{cm}^2$
- d) Photodisruption: waktu $10^{-13}-10^{-9}\text{s}$; intensitas $10^9-10^{13}\text{W}/\text{cm}^2$

2.4.3 Interaksi Sinar UV-C terhadap Inaktivasi Bakteri

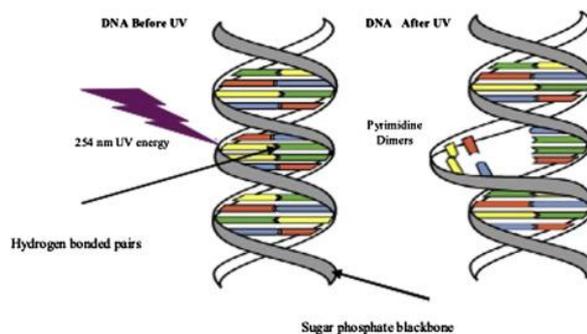
Dosis UV berbanding lurus dengan daya dan lama kontak dengan bahan, semakin tinggi daya dan lama kontak dengan bahan maka dosis yang dihasilkan juga semakin tinggi dan begitu juga sebaliknya. Akan tetapi dosis UV berbanding terbalik dengan total mikroba. Apabila dosis radiasi yang diberikan rendah maka akan menyebabkan sel lebih cepat memperbaiki rantai DNA yang telah dirusak sehingga total mikroba dalam produk semakin tinggi. Semakin besar daya yang digunakan dan semakin lama waktu pemaparan sinar UV-C maka akan semakin tinggi pula dosis dan efek germidikal (efek dalam membunuh mikroba) yang dihasilkan (Gozalez, 2010)

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

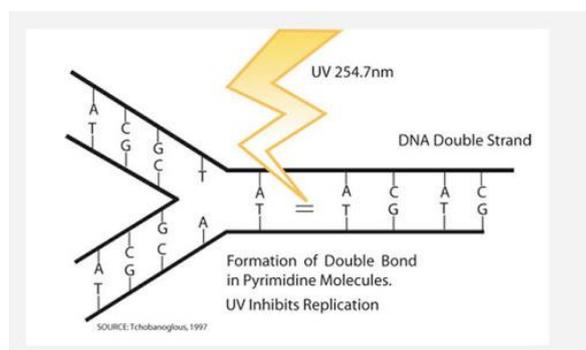
2.4.5 Mekanisme UV-C dalam Inaktivasi Bakteri

Mekanisme inaktivasi mikroorganisme oleh sinar UV-C dengan cara merusak asam nukleat sehingga mencegah replikasi mikroorganisme. Inti sel dikomposisi oleh rantai ganda DNA, yang diperlukan untuk sintesis ribosomal, transfer dan messenger RNA, yang bertanggung jawab ada proses sintesis dalam sel. DNA dan RNA merupakan polimer yang Panjang dan terdiri dari kombinasi

empat nukleotida. Nukleotida DNA tersusun atas purin, primidin, adenin dan guadinin. Timin dan sitosin nukleotida RNA terdiri atas purin, adenin, guanin dan pirimidin, urasil dan sitosin. Asam nukleat yang merupakan untai ganda dengan nukleotida rantai satu komplementer dengan lainnya. Adenin berpasangan dengan urasil pada RNA, sementara guadinin berpasangan dengan sitosin. Ikatan yang membentuk kedua pasangan adalah ikatan hydrogen. Setiap nukleotida bisa pecah dan menjadi dua bagian yaitu gula phopspat dan basa nitrogen. Mekanisme inaktivasi ultraviolet terhadap DNA dan RNA menghasilkan dimmer primidin seperti gambar berikut (Hariono, 2012) :



Gambar 2.4 Struktur DNA yang Pecah Terpapar Sinar UV-C (Koutchma et al., 2009)



Gambar 2.5 Efek sinar UV-C pada DNA (Atilgan, 2007)

Asam Nukleat mengabsorpsi sinar UV pada kisaran panjang gelombang 200 hingga 310 nm yang akan mengganggu struktur DNA dan RNA yang mendorong terjadinya kerusakan yang diawali dengan pembentukan dimer primidin, yaitu dengan adanya pembentukan ikatan antara pasangan timin atau sitosin-primidin yang berdekatan pada untai DNA atau RNA yang sama. Dimer ini mencegah mikroorganisme bereplikasi sehingga tidak aktif dan tidak mampu menginfeksi. Paparan sinar UV-C dapat mengganggu replikasi organisme dikarenakan paparan UV-C menyebabkan gangguan DNA dengan membentuk dimer timin yang mencegah transkripsi dan replikasi DNA (Guerrero-Beltran dan Barbosa-Canovas, 2004). Kondisi ini merangsang system perbaikan yang cenderung salah dalam mereplikasi sel melalui DNA yang rusak, sehingga terjadi mutase sel. Penyerapan sinar UV-C akan mengakibatkan terjadinya modifikasi kimiawi nukleo protein dan menimbulkan hubungan silang antara pasangan-pasangan molekul timin. Hubungan ini akan menyebabkan kesalahan pembacaan kode genetika yang mengakibatkan mutase yang akan merusak atay memperlemah fungsi vital orgasme (Waluyo, 2008)

Sinar UV dapat menyebabkan terbentuknya ikatan kovalen antara dua molekul timin dan menghasilkan timin dimer. Timen dimer ini menyebabkan kerusakan serius dan mengakibatkan kerusakan sel karena DNA dengan dimer timin tidak dapat direplikasi dan di transkripsi. Komponen sinar UV yang bersifat paling mutagenik adalah pada panjang gelombang 260 nm atau pada sinar UV-C (Effendy, 1997).

2.4.6 Pengaruh waktu Paparan UV-C pada Bakteri

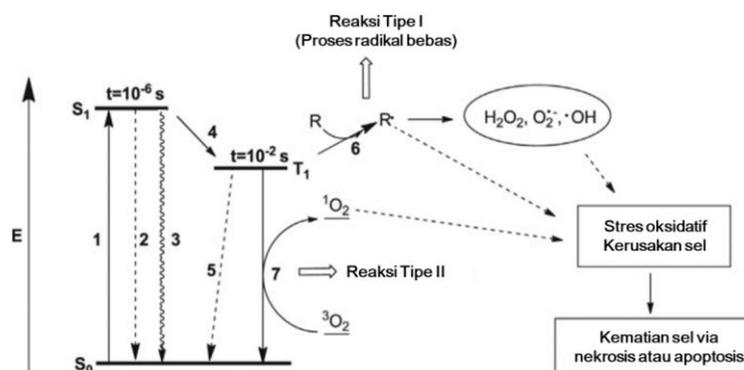
Suatu koloni bakteri yang dipapari UV-C secara terus-menerus akan mengakibatkan perubahan struktur dan komposisi serta menyebabkan timbulnya stress oksidatif pada objek (Droge, 2002). Pengaruh lama penyinaran juga akan berpengaruh terhadap suatu objek yang dipapari, semakin lama penyinaran UV-C maka semakin lama pula waktu terhidrolisis (AOAC, 2005)

2.5 PDI (Photodynamic Inactivation)

2.5.1 Pengertian PDI

Fotodinamik Inaktivasi adalah salah satu pendekatan *in vitro* untuk inaktivasi mikroorganisme (Astuti, 2016). PDI merupakan salah satu prinsip inaktivasi sel melalui reaksi fotodinamika (Alves, et al., 2014). Metode fotodinamika merupakan perlakuan fisiko-kimia yang melibatkan reaksi antara senyawa peka cahaya (sensitizer) non-toksik, energi foton cahaya, serta oksigen dilingkungan untuk menghasilkan senyawa oksigen radikal yang memicu kematian sel. PDI atau Inaktivasi fotodinamik merupakan teknologi non-termal yang mengandalkan simultan interaksi fotosensitizer tidak beracun (PS), cahaya yang sesuai panjang gelombang, dan molekul oksigen (O_2) untuk membunuh patogen, seperti Bakteri, jamur, virus, dan parasit Gram-positif dan Gram-negatif, serta generasi spesies oksigen reaktif (Hamblin, 2016) Kombinasi fotosensitizer tertentu dan cahaya pada PDI akan menyebabkan fotoinaktivasi pada bakteri (Wardle, 2009)

2.5.2 Prinsip PDI



Gambar 2.6 Proses fotodinamika yang terjadi antara cahaya, sensitizer dan oksigen dalam mekanisme inaktivasi sel (Yoon, Shim, 2013).

Tiga unsur utama pada reaksi fotodinamika adalah cahaya, oksigen, dan senyawa kimia yang disebut sebagai “fotosensitizer” (sensitizer). Gambar 1 menunjukkan proses fotofisika yang terlibat dalam proses inaktivasi metode fotodinamika berdasarkan Diagram Jablonski. Senyawa sensitizer akan teraktivasi dari level energi terendah (S_0) ke level 1 eksitasi (S_1) akibat penyerapan cahaya pada panjang gelombang tertentu (1). Senyawa pada level S_1 dapat kembali ke level S_0 dengan cara mengemisikan energi secara fluoresensi (2) atau konversi internal (3). Alternatif lainnya, senyawa ini dapat mengalami konversi ke level energi eksitasi terdekat T_1 yang relatif lebih stabil (4), kemudian kembali ke level S_0 dengan mengemisikan energi secara fosforesensi (5). Namun, transfer energi ini akan menghasilkan spesi oksigen radikal (radical oxygen species, ROS) yang menyebabkan kerusakan hingga kematian sel (6, 7) (Yoon et al., 2013).

Terdapat dua jenis reaksi yang melibatkan oksigen untuk mengembalikan tingkat energi sensitizer dari T1 ke S0. Reaksi tipe I melibatkan pelepasan hidrogen atau transfer elektron antara molekul sensitizer yang tereksitasi dengan molekul lain yang berdekatan, sehingga mengakibatkan pembentukan ion radikal.

Radikal yang terbentuk dapat bereaksi dengan oksigen pada tingkat energi dasar (3O_2) untuk menghasilkan ROS seperti anion superoksida, hidrogen peroksida, dan radikal hidroksil. Pada reaksi tipe II, energi dari tingkat T1 diteruskan secara langsung pada 3O_2 , dan menyebabkan eksitasi menjadi oksigen singlet (1O_2). Transfer energi kepada 3O_2 hanya dapat terjadi jika suatu sensitizer berada pada keadaan triplet yang sama, atau berada pada T1, sebagai tingkat energi dasar oksigen (Ormond & Freeman, 2013).

Sejak awal mula dikenal, prinsip reaksi fotodinamika lebih banyak ditujukan pada aplikasi di bidang pengobatan. Namun, seiring perkembangan penelitian yang dilakukan oleh para ilmuwan, reaksi fotodinamika tidak hanya menjadi dasar pengembangan terapi fotodinamika untuk pengobatan tumor dan kanker (PDT) (Allison & Moghissi, 2013), tetapi juga teknologi inaktivasi mikroorganisme (PDI) untuk tujuan aplikasi di bidang medis, pertanian, perikanan, serta keamanan pangan (Hamblin & Jori, 2015; Alves et al., 2014). PDI merupakan strategi antimikroba baru yang dilaporkan cukup efektif untuk menginaktivasi berbagai patogen dalam spektrum yang luas, bahkan termasuk mikroorganisme yang resisten terhadap antimikroba konvensional serta mikroba yang membentuk biofilm (Mesquita et al., 2018).

2.5.3 Sensitizer

Sensitizer (Fotosensitizer) didefinisikan sebagai senyawa kimia dengan sifat khas yang mampu menyerap energi cahaya pada panjang gelombang tertentu (Santosa & Limantara, 2010). Fotosensitizer pada umumnya dipaparkan pada bagian tertentu yang telah ditargetkan. Cahaya yang mengaktifkan fotosensitizer harus dari Panjang gelombang tertentu dengan intensitas yang relative tinggi (Takasaki et al, 2009). Sensitizer yang ideal tidak bersifat toksik terhadap suatu sel, tidak bersifat mutagenic, stabil dan menunjukkan selektivitas terhadap sel target. Diantara ketiga komponen reaksi fotodinamika, sensitizer merupakan komponen yang paling memungkinkan untuk dimodifikasi guna meningkatkan efektivitas reaksi (Indrawati et al., 2010)

Dalam kaitannya dengan tujuan inaktivasi mikroorganisme, dapat dijabarkan sifat sensitizer yang diinginkan sebagai berikut: mampu menyebabkan penurunan jumlah sel target yang hidup $> 3\log_{10}$ CFU, dapat menghasilkan singlet oksigen dalam jumlah tinggi (quantum yield), fotostabil, spektrum antimikroba luas, afinitas tinggi terhadap mikroorganisme tetapi rendah terhadap sel mamalia, tidak menyebabkan perubahan struktur DNA, dan tidak toksik dalam gelap. Selain itu, molekul sensitizer diharapkan memiliki serapan di wilayah therapeutic window (600–1200 nm), di mana hanya komponen sel target yang akan diinaktivasi, tanpa mempengaruhi ataupun merusak komponen sel eukariotik disekitarnya (Tim, 2015).

Kurkumin merupakan salah satu fotosensitizer yang baik, dimana merupakan akseptor elektron dan efisien digunakan sebagai fotosensitizer

karena memiliki gugus yang dapat menerima sinar tampak dan ultraviolet (gugus kromofor). Kurkumin dapat dipilih sebagai fotosensitizer karena energi eksitasinya yang mendekati energi eksitasi dari oksigen. (Gorman dan Hamblett, 1994).

Enzim internal pada *S.aureus*, porfirin adalah fotosensitizer endogen (Kempa, 2015). Sedangkan Penambahan fotosensitizer eksogen dapat meningkatkan pengurangan jumlah koloni bakteri. Senyawa aktif dari ekstraksi temulawak adalah kurkumin yang memiliki beberapa keunggulan antara lain sebagai anti karsinogenik, antimikroba, antikanker, dan antiradang (Correa, 2017). Ekstrak kurkumin (K) adalah zat dari ekstraksi *Curcuma longa* yang telah dilaporkan sebagai fotosensitizer eksogen yang efektif (Saitawe, 2018). Memiliki puncak serapan sekitar 300 - 500 nm, mengindikasikan cocok untuk menggunakan sinar violet atau biru sebagai sinar yang aman (Paschoal,2013).

2.5.4 Cahaya LED (Light Emitting Diode) pada PDI

Pada reaksi fotodinamika, cahaya berperan sebagai sumber foton. Pada aplikasinya, terdapat lima parameter cahaya yang perlu diperhatikan, yaitu adanya refleksi, serapan (absorption), pembiasan refraction), autofluoresensi media substrat (background autofluorescence), serta distribusi foton yang dipancarkan oleh fluorokrom (senyawa yang berfluoresensi, sensitizer) ke media substrat (Paganin-Gioanni et al., 2010).

Sumber cahaya yang memiliki rentang spektrum absorpsi porphyrin photosensitizer antara lain LED (Lightemitting diode). LED merupakan

semikonduktor kompleks yang dapat mengkonversi secara efisien energi listrik menjadi cahaya (Schubert, 2006), menghasilkan sejumlah kecil panas dalam cahaya yang ditimbulkan, memiliki life time yang lama dan dapat dimodulasi dengan kecepatan tinggi (Ross, 1979). LED menghasilkan cahaya dengan berbagai warna. Warna cahaya yang diemisikan oleh LED bergantung pada komposisi material semikonduktor yang digunakan, baik infra merah, cahaya tampak maupun ultraviolet (Astuti,2011). Lampu LED memancarkan cahaya dari pergerakan electron pada material. Lampu LED terdiri dari material semikonduktor yang memancarkan gelombang cahaya, sehingga dapat dilihat oleh mata manusia dan terpancar dalam jumlah besar. Bahan semi konduktor dibungkus dalam plastic sehingga cahaya yang dihasilkan dapat focus pada arah tertentu. Bahan plastic penutup juga dapat diberi warna, tetapi hal ini hanya untuk estetika dan memperkuat tampilan warna yang dihasilkan, sehingga tidak berpengaruh pada gelombang warna yang dihasilkan (Kurniawati, 2010).

LED merupakan salah satu sumber cahaya yang digunakan untuk fotoinaktivasi dan spektrum serapan fotosensitiser. Warna cahaya yang dihasilkan oleh sebuah LED bergantung pada bahan dan kondisi semikonduktor yang dimasukkan (Scubert, 2006). LED banyak digunakan pada PDI karena beberapa keunggulan yaitu lebih mudah dalam perakitanya (Setiawati,2006) dan tidak menghasilkan efek fotothermal akibat panas yang dipancarkan dalam jumlah yang sedikit (Astuti, 2016). Dalam berbagai penelitian, penggunaan LED pada porfirin endogen dan eksogen menunjukkan keberhasilan dalam potensi inaktivasi (Mardianto, 2020).

LED berwarna biru memiliki beberapa keunggulan yaitu instrumen yang murah dan menyebar dengan panas rendah, sehingga kerusakan pada dermis

dapat diminimalkan LED biru merupakan instrumen sumber cahaya yang memiliki panjang gelombang broadband dan energi dari pancaran LED biru tidak setinggi laser . Penggunaan LED biru untuk PDI dikarenakan kesesuaian dengan panjang gelombang cahaya dan absorpsi panjang gelombang maksimum fotosensitizer yang dapat menyebabkan proses foto-fisik sebelum reaksi fotokimia dapat dilakukan (Tim, 2015).

2.5.4 Mekanisme Inaktivasi Bakteri secara Fotodinamik

Proses inaktivasi mikroorganisme dengan metode fotodinamika terbagi menjadi 3 tahapan, yaitu inkubasi, proses fotosensitasi, dan tahap akhir proses fotosensitasi. Fase inkubasi pada bakteri dan sel vegetatif protozoa terjadi hanya dalam waktu 1–5 menit, di mana adanya interaksi elektrostatik menyebabkan molekul fotosensitizer berikatan dengan permukaan sel mikroba. Pada suatu sel dibutuhkan waktu 30 menit bagi molekul fotosensitizer masuk ke dalam sel dan mencapai konsentrasi endoseluler tertentu untuk dapat aktif secara fotokimia. Selanjutnya, selama proses fotosensitasi terjadi inaktivasi enzim (NADH, suksinat dan laktat dehidrogenase), kerusakan protein pada membran, dan gangguan sistem transpor sel. Pada tahap lebih lanjut, molekul sensitizer perlahan terdifusi ke bagian dalam sel dan menyebabkan kerusakan lebih lanjut (Hamblin & Jori, 2015).

Tahapan inkubasi, kecepatan difusi sensitizer, dan jenis biomolekul yang menjadi target utama kerusakan dapat berbeda antar spesies mikroba. Struktur membran sel bakteri Gram positif lebih berpori, tersusun dari peptidoglikan, dengan asam lipoteikoik dan teikuronik, sedangkan membran Gram negatif

memiliki lapisan peptidoglikan serta lipopolisakarida yang sangat bermuatan negatif, fosfolipid, lipoprotein, dan protein. Bakteri *Staphylococcus aureus* merupakan bakteri gram positif yang dapat menggunakan sensitizer netral ataupun bermuatan untuk menginaktivasi sel-sel pada bakteri tersebut (Mesquita et al., 2018).

2.5.5 Efek PDI terhadap inaktivasi Bakteri

Penyinaran cahaya yang memiliki spektrum panjang gelombang yang sesuai seperti penyinaran LED pada metode inaktivasi fotodinamik (PDI) dengan spektrum serap porfirin fotosensitizer dengan dosis energi penyinaran yang tepat dapat menyebabkan fotoinaktivasi sel bakteri. Fotoinaktivasi adalah penghambatan aktivitas metabolisme sel karena kerusakan membran sitoplasmik akibat peroksidasi oleh oksigen reaktif pada lipid dan protein mengakibatkan lisis sel atau inaktivasi sistem transport membran dan sistem enzim transport membran pada sel bakteri tersebut (Fauzi, 2019)

BAB III

METODOLOGI

3.1. Jenis Penelitian

Jenis penelitian yang digunakan adalah penelitian eksperimental yang dilakukan di laboratorium. Sampel yang digunakan pada penelitian ini apel manalagi yang terkontaminasi bakteri *Staphylococcus aureus* dan sampel ,lain yaitu apel yang diberi kontaminasi kurkumin sebagai fotosensitizer pada inaktivasi fotodinamik.

3.2. Waktu dan Tempat penelitian

Penelitian ini dilakukan pada bulan September sampai Desember 2021 di Laboratorium Biofisika Jurusan Fisika dan Laboratorium Farmasi Jurusan Farmasi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.

3.3. Alat dan Bahan Penelitian

3.3.1. Alat-alat yang digunakan

Alat yang digunakan pada penelitian ini diantaranya

1. Lampu radiasi UV-C
2. Diode pemancar cahaya (LED) biru
3. Cawan petri
4. LAF (lemari aliran laminar)
5. Incubator
6. Autoklaf

7. Hot Plate
8. Colony Counter
9. Erlenmeyer
10. Bunsen
11. Vorteks
12. Tisu
13. Kapas
14. Aluminium Foil
15. Gelas ukur 50 ml
16. Magnetic Stirrer
17. Korek Api
18. Tabung reaksi
19. Pisau steril.
20. Jarum Ose
21. Timbangan Analitik
22. Cawan Petri
23. Plastik bening
24. Spertus

3.3.2. Bahan yang digunakan

Bahan yang digunakan pada penelitian ini yaitu :

1. Bakteri *Staphylococcus aureus*
2. Buah apel manalagi
3. Media NA (Nutrient Agar)
4. Larutan kurkumin 4mM
5. Aquades

6. Natrium Hidroksida 0,9%

3.4 Rancangan Penelitian

Penelitian menggunakan metode eksperimen di laboratorium. Alat dan bahan dipersiapkan terlebih dahulu sebelum memulai penelitian. Setelah itu semua alat disterilisasi agar tidak terkontaminasi. Bahan-bahan sudah siap dipakai, termasuk bakteri *Staphylococcus aureus* yang sudah diremajakan dan dibiakkan. Pada penelitian ini terdapat 3 fokus penelitian. Penelitian pertama mengenai paparan UV-C terhadap sampel apel yang sudah terkontaminasi bakteri *Staphylococcus aureus* dan penelitian kedua mengenai paparan PDI terhadap sampel apel yang dimediasi kurkumin, dan penelitian ketiga gabungan antara paparan UV-C dan PDI.

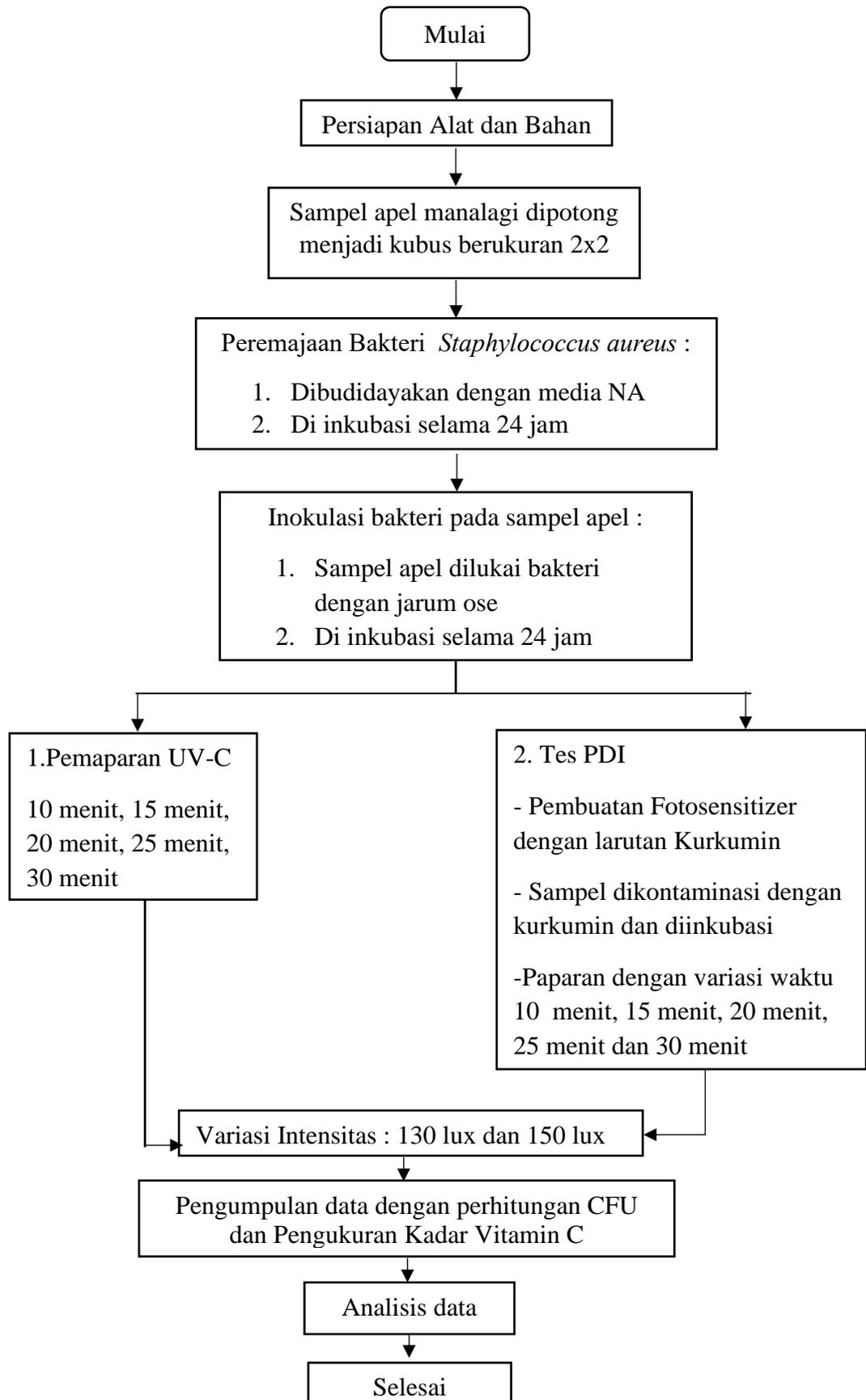
Penelitian pertama yaitu radiasi yang dilakukan dengan lampu UV-C selama 10 menit, 15 menit, 20 menit, 25 menit dan 30 menit serta variasi intensitas 130 lux dan 150 lux terhadap sampel. UV-C akan menerangi potongan apel yang terkontaminasi suspensi bakteri *S.Aureus*. sampel tersebut akan menerima pencahayaan dari atas dan bawah dengan variasi waktu diatas. Hasil dari penelitian ini yaitu untuk mengetahui seberapa efektif paparan UV-C terhadap pertumbuhan suspensi bakteri *Staphylococcus aureus* yang mengontaminasi buah apel.

Penelitian kedua mengenai PDI. Sebelum melakukan tes PDI, dilakukan pembuatan fotosensitizer dengan larutan kurkumin terlebih dahulu. Setelah tahap fotosensitizer selesai, radiasi dilakukan dengan diode pemancar cahaya (LED) 450 nm dengan waktu pemaparan pada masing masing dosis 10 menit, 15 menit, 20 menit, 25 menit dan 30 menit dan variasi intensitas 130 lux dan 150 lux. Tes inaktivasi fotodinamik (PDI) sendiri dilakukan dengan menerangi sampel

makanan yang terkontaminasi kurkumin dengan pencahayaan dari atas dan bawah.

Setelah dilakukan kedua pemaparan, dilakukan penentuan kadar vitamin C pada buah apel. Buah ditumbuk dengan halus kemudian ditimbang sebanyak 1 gram. Setelah itu dimasukkan kedalam labu ukur dan dicampur dengan 50 ml aquades. Kemudian larutan disaring, dimasukkan kedalam beaker glass 50 ml. selanjutnya pembuatan larutan standar vitamin C yaitu asam askorbat dengan konsentrasi 100 ppm dalam 50 ml aquades. Setelah itu dibuat pengenceran lagi dengan variasi konsentrasi 4 ppm, 8 ppm, 12 ppm dan 16 ppm. Penentuan nilai serapan atau absorbansinya menggunakan spektroskopi UV-Vis dengan panjang gelombang 265nm. Dilanjutkan pengolahan data, analisis data dan selesai.

3.4.1. Diagram Alir



3.5. Prosedur Penelitian

3.5.1. Persiapan Sampel Apel Manalagi

Jenis Apel Manalagi atau Apel Malang disiapkan sebagai sampel. Sampel apel dipotong menjadi kubus berukuran 2x2x2 cm menggunakan pisau steril.

3.5.2. Sterilisasi Alat

Semua jenis alat yang digunakan untuk penumbuhan dan peremajaan bakteri disterilkan di autoklaf, seperti Erlenmeyer, tabung reaksi, cawan petri, pipet dan jarum ose.

3.5.3. Penyiapan Media NA (Nutrient Agar)

1. Ditimbang media NA sebanyak 6 gram dan dimasukkan kedalam tabung Erlenmeyer
2. Ditambahkan 250 ml aquades ke dalam tabung Erlenmeyer yang berisi media NA
3. Dipanaskan diatas hotplate hingga mendidih sambil diaduk menggunakan magnetic stirrer sampai homogen, lalu dibiarkan beberapa saat
4. Dimasukkan kedalam autoklaf selama 15 menit pada suhu 121°C agar steril
5. Dituangkan media pada cawan petri masing-masing 5 ml untuk penumbuhan bakteri.

3.5.4. Penumbuhan dan Peremajaan bakteri

1. Bakteri *Staphylococcus aureus* yang sudah dibiakkan akan diremajakan pada media NA dengan cara diambil 1 ose biakan bakteri secara zig-zag

2. Diulangi sampai diperoleh biakan murni pada beberapa cawan petri yang sudah terdapat media NA didalamnya
3. Diinkubasi pada suhu 37 ° C selama 24 jam.

3.5.5. Pemaparan UV-C

Radiasi dilakukan dengan lampu UV-C yang memiliki emisi 254 nm selama 10 menit, 15 menit, 20 menit, 25 menit dan 30 menit dengan variasi intensitas 130 lux dan 150 lux. UV-C akan menerangi potongan apel yang terkontaminasi bakteri *S.Aureus*. Sampel tersebut akan menerima pencahayaan dari atas dan bawah dengan variasi waktu diatas.

3.5.6. Tes Inaktivasi fotodinamik yang dimediasi kurkumin

Langkah awal dilakukan fotosensitizer dengan menggunakan kurkumin yang mempunyai konsentrasi 40 μ M. 1 liter kurkumin yang berkonsentrasi 40 μ M membutuhkan 0,01 gram kurkumin. Setelah mendapatkan hasil fotosensitizer, sampel apel direndam dengan kurkumin 40 μ M. Sebelum inaktivasi dimulai, sampel diinkubasi 30 menit terlebih dahulu.

Setelah tahap fotosensitizer selesai dan siap digunakan, radiasi dilakukan dengan diode pemancar cahaya (LED) 450 nm dengan variasi intensitas dan waktu yang telah ditentukan.

3.5.7. Perhitungan Koloni Bakteri

1. Daging buah apel yang sesudah dipapari UV-C dan LED maupun daging buah untuk control dimasukkan ke dalam tabung reaksi yang berisi NaCl 0,9%.

2. Divorteks tabung reaksi selama 1 menit dengan tujuan melepas bakteri dari sampel daging buah.
3. Diambil 1 ml suspense dari tabung reaksi yang sudah dipapari , kemudian dimasukkan 1 ml suspense ke dalam tabung reaksi steril yang berisi 9 ml aquades sebagai pengenceran pertama.
4. Diambil Kembali 1 ml dari suspense pertama yang sudah dihomogenkan kemudian dimasukkan ke dalam tabung reaksi yang berisi 9 ml aquades sebagai pengenceran kedua
5. Suspense pada pengenceran kedua dituangkan 1 ml ke dalam cawan petri steril, kemudiaan diisi media NA sebagai media untuk hidup bakteri.
6. Semua proses diatas dilakukan secara aseptis
7. Setelah media membeku, cawan petri dimasukkan ke dalam incubator dengan posisi terbalik (bagian tutup berada dibawah). Suhu selama inkubasi yaitu 37°C selama 24 jam.
8. Setelah 24 jam, dapat dihitung koloni bakteri dengan menggunakan Colony Counter.

3.5.8 Pengukuran Kadar Vitamin C

1. Disiapkan apel yang akan dihitung kadar vitamin C
2. Bahan ditumbuk atau diblender
3. Bahan yang telah ditumbuk ditimbang sebanyak 1 gram
4. Bahan yang telah ditimbang dicampur dengan larutan aquades 50 ml.
5. Dibuat larutan induk Askorbat dengan konsentrasi 100 ppm dalam 50 ml.
6. Timbang 5 mg asam askorbat.
7. Ditambahkan 50 ml aquades.

8. Diencerkan dalam 25 ml aquades untuk variasi konsentrasi 4,8,12 dan 16 ppm.
9. Pengukuran absorbansi dengan spektroskopi UV-Vis pada Panjang gelombang 265nm
10. Diolah hasil data untuk menentukan kadar vitamin C

3.6. Teknik Pengumpulan Data

Efisiensi perawatan buah apel terhadap bakteri *Staphylococcus aureus* menggunakan penyinaran UV-C dan PDI dievaluasi dengan menghitung mikroorganisme dalam sampel makanan dengan menghitung unit pembentuk koloni (CFU). Rumus umum untuk menghitung mikroorganisme dalam satuan CFU/ mL (g) adalah sebagai berikut :

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

3.6.1. Data Pemaparan UV-C dan LED

Radiasi dilakukan dengan lampu UV-C yang memiliki emisi 254 nm dan sampel tersebut akan menerima pencahayaan dari atas dan bawah. Radiasi kedua dilakukan dengan 24 buah lampu LED berwarna biru dengan Panjang gelombang 450 nm. Objek paparan akan menerima pencahayaan dari atas dan bawah masing-masing 12 lampu.

Tabel 3.1 Tabel Hasil Data Penelitian

NO	Paparan	Waktu	koloni bakteri cfu/ml			rata-rata
		(menit)	1	2	3	(cfu/ml)
Kontrol						
1	UV-C 130 Lux (265 nm)					
2	UV-C 150 Lux (265 nm)					
3	LED 130 Lux (450 nm)					
4	LED 150 Lux (450 nm)					

3.7. Teknik Analisis Data

Dalam penelitian ini, data yang diperoleh adalah jumlah bakteri yang masih hidup sesudah diberi perlakuan variasi waktu dan intensitas. Data yang diperoleh selanjutnya dianalisis dengan menggunakan grafik pada Microsoft Excel yang bertujuan untuk mengetahui pengaruh UV-C dan Teknik PDI untuk menghambat pembiakan bakteri *Staphylococcus aureus*. Analisis dilakukan dengan menggunakan SPSS Faktorial dan uji lanjut DMRT.

BAB IV

PEMBAHASAN

4.1 Hasil Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui tentang pengaruh UV-C dan inaktivasi fotodinamik menggunakan LED pada bakteri *Staphylococcus aureus* pada buah Apel Manalagi. Preparasi sampel pada penelitian ini dilakukan di laboratorium biofisika jurusan fisika Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.

Penelitian ini menggunakan sampel Apel Manalagi yang baru dipetik dari pohonnya. Sedangkan Sampel bakteri yang digunakan adalah bakteri *Staphylococcus aureus* yang di inokulasikan pada daging buah apel dengan ukuran $2 \times 2 \times 2 \text{ cm}^2$. Penelitian ini dilakukan dengan 2 variasi. Variasi pertama yaitu dengan paparan radiasi UV-C dan variasi kedua radiasi LED pada sampel.

Percobaan pertama pada paparan UV-C , lampu UV-C yang digunakan pada penelitian ini sebesar 20 Watt, Panjang lampu 60,5 cm. Intensitas saat paparan dari sumber ke sampel adalah 130 lux dan 150 Lux dengan variasi waktu 10 menit, 15 menit, 20 menit, 25 menit dan 30 menit. Sampel yang akan dipapari ditata pada rak percobaan dan tertelak ditengah. Lampu UV-C akan menerangi dari atas dan bawah.

Percobaan kedua yaitu inaktivasi fotodinamik menggunakan LED. Sebelum pemaparan sampel yang dinokulasikan dengan bakteri, terlebih dahulu sampel direndam dengan fotosensitizer yaitu larutan kurkumin. Intensitas saat paparan

dari sumber ke sampel adalah 130 lux dan 150 lux dengan variasi waktu pada LED adalah 10 menit, 15 menit, 20 menit, 25 menit dan 30 menit.

4.1.1 Pengaruh Intensitas dan Waktu pemaparan sinar UV-C dan LED untuk menghambat pertumbuhan bakteri.

Apel Manalagi yang telah terkontaminasi bakteri *Staphylococcus aureus* kemudian dipapari dengan UV-C. Setelah itu, sampel apel dimasukkan kedalam 10 ml NaCl 0.9% dan divorteks selama 1 menit untuk melepas sel bakteri dari sampel daging buah apel. Perlakuan pada sampel dilakukan sesuai prosedur diatas. Kemudian dilakukan pengenceran dan dihitung jumlah koloni bakteri *Staphylococcus aureus* menggunakan colony counter.

Paparan kedua menggunakan LED dimana buah apel sebelum dikontaminasi dengan bakteri *Staphylococcus aureus* lebih dulu direndam dengan larutan kurkumin 4 μ m. larutan kurkumin bertujuan sebagai fotosensitizer yang dapat menyebabkan penurunan jumlah sel target lebih maksimal. Setelah Bakteri *Staphylococcus aureus* yang telah dilukai pada buah apel kemudian dilakukan percobaan sesuai prosedur diatas.

Untuk mengetahui jumlah koloni bakteri, dihitung dengan menggunakan persamaan :

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

Data hasil penelitian pengaruh intensitas dan waktu pemaparan sinar UV-C dan LED untuk menghambat pertumbuhan bakteri disajikan pada table 4.1.

Tabel 4.1 Hasil pemaparan UV-C dan LED

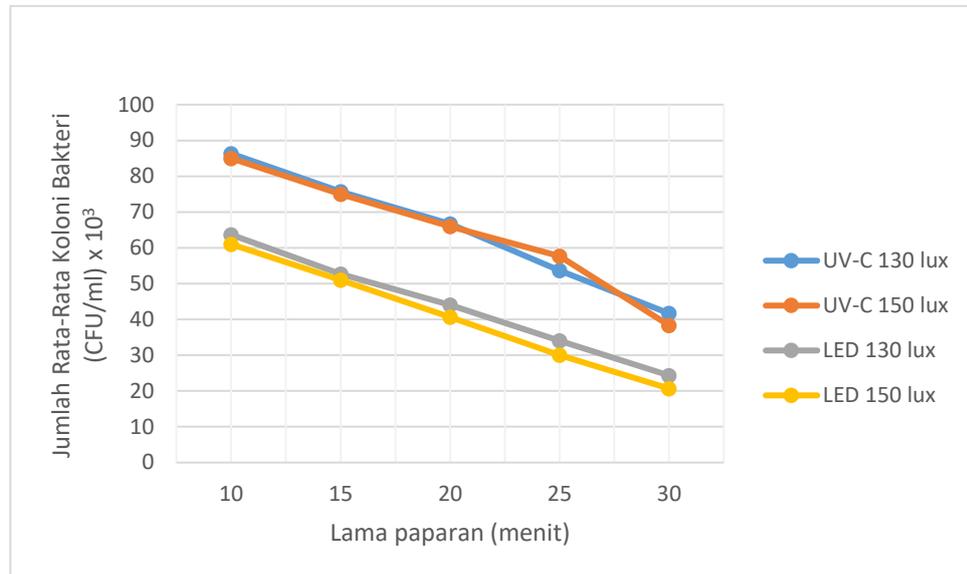
NO	Intensitas Cahaya	Waktu (menit)	Σ Koloni Bakteri (CFU/ml)			Rata-Rata (CFU/ml)
			1	2	3	
Kontrol			157 x 10 ³	174 x 10 ³	194 x 10 ³	175 x 10 ³
1		10	80 x 10 ³	89 x 10 ³	90 x 10 ³	(86,33 ±5,507) x 10 ³
	UV-C 130 Lux	15	74 x 10 ³	75 x 10 ³	78 x 10 ³	(75,67 ±2,081) x 10 ³
	(265 nm)	20	65 x 10 ³	66 x 10 ³	67 x 10 ³	(66,00 ±1,000) x 10 ³
		25	52 x 10 ³	54 x 10 ³	55 x 10 ³	(53,67 ±1,527) x 10 ³
		30	40 x 10 ³	43 x 10 ³	42 x 10 ³	(41,67 ±1,426) x 10 ³
2		10	86 x 10 ³	85 x 10 ³	84 x 10 ³	(85,00 ±1,000) x 10 ³
	UV-C 150 Lux	15	76 x 10 ³	75 x 10 ³	74 x 10 ³	(75,00 ±1,000) x 10 ³
	(265 nm)	20	67 x 10 ³	66 x 10 ³	67 x 10 ³	(66,67 ±0,577) x 10 ³
		25	59 x 10 ³	56 x 10 ³	58 x 10 ³	(57,67 ±1,527) x 10 ³
		30	39 x 10 ³	39 x 10 ³	37 x 10 ³	(38,33 ±1,154) x 10 ³
3		10	64 x 10 ³	63 x 10 ³	64 x 10 ³	(63,67 ±0,577) x 10 ³
	LED 130 Lux	15	53 x 10 ³	52 x 10 ³	53 x 10 ³	(52,67 ±0,577) x 10 ³
	(450 nm)	20	45 x 10 ³	43 x 10 ³	44 x 10 ³	(44,00 ±1,000) x 10 ³
		25	38 x 10 ³	31 x 10 ³	33 x 10 ³	(34,00 ±3,605) x 10 ³
		30	26 x 10 ³	23 x 10 ³	24 x 10 ³	(24,33 ±1,527) x 10 ³
4		10	62 x 10 ³	61 x 10 ³	60 x 10 ³	(61,00 ±1,000) x 10 ³
	LED 150 Lux	15	50 x 10 ³	51 x 10 ³	52 x 10 ³	(51,00 ±1,000) x 10 ³
	(450 nm)	20	43 x 10 ³	40 x 10 ³	39 x 10 ³	(40,67 ±2,081) x 10 ³
		25	30 x 10 ³	29 x 10 ³	31 x 10 ³	(30,00 ±1,000) x 10 ³
		30	21 x 10 ³	19 x 10 ³	22 x 10 ³	(20,67 ±1,527) x 10 ³

Tabel 4.1 menunjukkan bahwa paparan UV-C dan LED dengan variasi intensitas dapat menurunkan jumlah koloni bakteri *Staphylococcus aureus* pada buah apel. Jumlah rata-rata koloni bakteri sebelum diberi paparan UV-C adalah 175 x 10³ CFU/ml. setelah sampel diberi paparan UV-C dengan intensitas 130 Lux

, bakteri yang masih hidup pada paparan 10 menit $86,33 \times 10^3$ CFU/ml, $75,67 \times 10^3$ CFU/ml pada 15 menit, 66×10^3 CFU/ml pada 20 menit, $53,67 \times 10^3$ CFU/ml pada 25 menit dan $41,67 \times 10^3$ CFU/ml pada 30 menit. Sedangkan pada intensitas 150 Lux rata-rata bakteri yang masih hidup pada paparan 10 menit adalah 85×10^3 CFU/ml, 75×10^3 CFU/ml pada 15 menit, $66,67 \times 10^3$ CFU/ml pada paparan 20 menit, $57,67 \times 10^3$ CFU/ml pada paparan 25 menit, dan $38,33 \times 10^3$ CFU/ml pada paparan 30 menit.

Tabel 4.1 menunjukkan bahwa paparan LED didukung dengan adanya fotosensitizer sebagai Teknik fotodinamik inaktivasi dapat menurunkan jumlah koloni bakteri *Staphylococcus aureus* pada buah apel yang terkontaminasi bakteri tersebut. Jumlah rata-rata koloni bakteri pada buah apel yang terkontaminasi bakteri dan tidak terpapar LED adalah 142×10^3 CFU/ml. setelah sampel diberi paparan LED dengan intensitas 130 Lux bakteri yang masih hidup pada paparan 10 menit adalah $63,67 \times 10^3$ CFU/ml, $52,67 \times 10^3$ CFU/ml pada paparan 15 menit, 44×10^3 CFU/ml pada paparan 20 menit, 34×10^3 CFU/ml pada paparan 25 menit, dan $24,33 \times 10^3$ CFU/ml pada paparan 30 menit. Sedangkan pada paparan LED intensitas 150 Lux rata rata bakteri yang masih hidup pada paparan 10 menit adalah 61×10^3 CFU/ml, kemudian 51×10^3 CFU/ml pada paparan 15 menit, $40,67 \times 10^3$ CFU/ml pada paparan 20 menit, selanjutnya 30×10^3 CFU/ml pada paparan 10 menit, dan terakhir $20,67 \times 10^3$ CFU/ml pada paparan 30 menit.

Paparan UV-C dan LED dengan variasi intensitas dan waktu memberikan pengaruh terhadap penurunan jumlah koloni bakteri *Staphylococcus aureus* pada buah apel. Untuk mengetahui pola pengaruhnya, data tersebut dapat dianalisa dengan menggunakan grafik yang ditunjukkan pada gambar 4.1.



Gambar 4.1. Grafik pengaruh paparan dan lama paparan terhadap penurunan koloni bakteri *Staphylococcus aureus*

Grafik pada gambar 4.1 menunjukkan bahwa laju penurunan tiap variasi hampir sama. Dimana semakin besar intensitas dan lama paparan maka akan semakin besar penurunan jumlah koloni bakteri. Untuk mengetahui persentase penurunan jumlah koloni bakteri ditentukan dengan menggunakan persamaan :

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

Dengan :

N_0 = Jumlah rata-rata koloni bakteri sebelum dipapari UV-C maupun LED

N = Jumlah rata-rata koloni bakteri setelah dipapari UV-C maupun LED

Hasil data persentase penurunan jumlah koloni bakteri dapat dilihat pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Data Hasil Persentase Penurunan Koloni Bakteri pada paparan UV-C dan LED.

NO	Intensitas Cahaya	Waktu	Rata-Rata	Persentase Penurunan
		(Menit)	(CFU/ml)	(%)
1	UV-C 130 Lux (265 nm)	10	$86,33 \times 10^3$	52%
		15	$75,67 \times 10^3$	57%
		20	$66,00 \times 10^3$	62%
		25	$53,67 \times 10^3$	69%
		30	$41,67 \times 10^3$	76%
2	UV-C 150 Lux (265 nm)	10	$85,00 \times 10^3$	51%
		15	$75,00 \times 10^3$	57%
		20	$66,67 \times 10^3$	62%
		25	$57,67 \times 10^3$	67%
		30	$38,33 \times 10^3$	78%
3	LED 130 Lux (450 nm)	10	$63,67 \times 10^3$	55%
		15	$52,67 \times 10^3$	63%
		20	$44,00 \times 10^3$	69%
		25	$34,00 \times 10^3$	76%
		30	$24,33 \times 10^3$	83%
4	LED 150 Lux (450 nm)	10	$61,00 \times 10^3$	57%
		15	$51,00 \times 10^3$	64%
		20	$40,67 \times 10^3$	71%
		25	$30,00 \times 10^3$	79%
		30	$20,67 \times 10^3$	85%

Berdasarkan data persentase penurunan jumlah koloni bakteri pada table 4.3 menunjukkan bahwa paparan UV-C dengan intensitas 150 lux pada waktu 30 menit merupakan penurunan dengan persentase terbesar dengan nilai 78%. Hal ini menunjukkan bahwa paparan UV-C dengan intensitas yang besar dan lamanya paparan waktu dapat mempengaruhi penurunan jumlah koloni bakteri. Sementara pada paparan LED yang dibantu dengan adanya fotosensitizer pada sampel, persentasi penurunan terbesar terjadi pada paparan 150 lux dengan lama paparan 30 menit sebesar 85%. Hal ini menunjukkan bahwa paparan dengan intensitas yang

besar dan semakin lama waktu paparan menghasilkan penurunan jumlah koloni bakteri *Staphylococcus aureus* yang maksimal.

Perbedaan persentase penurunan dari kedua table dari efek paparan UV-C dan Teknik PDI yaitu persentase penurunan pada paparan LED lebih besar daripada paparan UV-C dengan variasi intensitas yang sama. Apabila dibandingkan dengan variasi waktunya, paparan LED dengan waktu yang sama mampu menurunkan bakteri lebih besar. Pada paparan UV-C dengan intensitas 150 lux dan lama paparan 30 menit penurunan jumlah koloni sebesar 75%, sedangkan paparan LED intensitas 150 lux dengan waktu yang sama, mampu menurunkan jumlah koloni bakteri mencapai 85%. Hal ini diakibatkan adanya bantuan dari sensitizer pada penyinaran dengan Teknik PDI menggunakan LED. Sensitizer kurkumin merupakan senyawa aktif yang memiliki puncak serapan sekitar 300-500 nm dan dapat menurunkan mikroba (Paschoal,2013).

Percobaan ketiga dilakukan menggunakan paparan LED tanpa fotosensitizer. Percobaan ini untuk membuktikan apakah fotosensitizer berpengaruh besar terhadap penurunan bakteri. Hasilnya dapat dilihat pada tabel 4.3.

Tabel 4.3 Data Hasil paparan LED non Fotosensitizer

waktu	Σ koloni bakteri (CFU/ml)			rata-rata
(menit)	1	2	3	(CFU/ml)
kontrol	151×10^3	147×10^3	128×10^3	142×10^3
10	45×10^3	54×10^3	37×10^3	$45,33 \times 10^3$
15	39×10^3	36×10^3	28×10^3	$34,33 \times 10^3$
20	32×10^3	31×10^3	25×10^3	$29,33 \times 10^3$
25	29×10^3	28×10^3	23×10^3	$26,67 \times 10^3$
30	26×10^3	24×10^3	20×10^3	$23,33 \times 10^3$

Tabel 4.3 menunjukkan bahwa paparan LED yang tidak menggunakan fotosensitizer juga berpengaruh terhadap penurunan jumlah koloni bakteri. Hal ini disebabkan karena terjadi serapan maksimal pada paparan LED terhadap objek. Sehingga dapat disimpulkan bahwa fotosensitizer tidak terlalu berpengaruh terhadap penurunan mikroorganisme bakteri.

Hasil analisis lanjut pengaruh paparan dan waktu terhadap jumlah koloni bakteri dapat dilihat menggunakan uji factorial SPSS pada tabel 4.3 dibawah ini.

Tabel 4.4 Hasil uji SPSS Faktorial pengaruh paparan dan waktu terhadap jumlah koloni bakteri

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Model	192.917.333 ^a	20	9.645.867	70.579.521	.000
Paparan	7.943.800	3	2.647.933	1.937.512	.000
Waktu	1.391.433	4	3.479.358	2.524.872	.000
Paparan*Waktu	176.033	12	14.669	10.734	
Error	54.667	40	1.367		
Total	192.972.000	60			

Pada hasil analisis diatas dapat diketahui bahwa paparan UV-C dan LED dapat mempengaruhi pada penurunan jumlah koloni bakteri *Staphylococcus aureus* pada buah apel ($p < 0.05$). Variasi waktu paparan juga mempengaruhi penurunan jumlah koloni bakteri ($p < 0.05$). Interaksi antara keduanya (paparan dan waktu) juga mempengaruhi penurunan jumlah koloni bakteri ($p < 0.05$). Uji hasil DMRT paparan dan waktu dapat dilihat pada tabel berikut .

Tabel 4.5 Hasil uji DMRT paparan UV-C dan LED

Perlakuan	Simbol
4	a
3	a
2	b
1	b

Dari tabel tersebut dapat diketahui bahwa perlakuan paling maksimal yaitu pada perlakuan 4, dimana merupakan perlakuan paparan LED dengan intensitas 150 Lux dengan rata-rata jumlah koloni sebesar $20,67 \times 10^3$ CFU/ml.

Tabel 4.6 Hasil uji DMRT lama paparan (waktu)

Perlakuan	Simbol
5	a
4	b
3	c
2	c
1	d

Dari tabel tersebut dapat diketahui bahwa perlakuan paling mencolok yaitu pada perlakuan ke-5 yaitu variasi paparan 30 menit. Dapat disimpulkan dari kedua hasil uji DMRT diatas bahwa perlakuan paling baik terjadi pada paparan LED 150 lux dan lama paparan 30 menit.

4.1.2 Pengaruh paparan sinar UV-C dan PDI terhadap kadar Vitamin C

Vitamin C adalah nutrisi penting bagi manusia. Buah apel memiliki kandungan vitamin C sebanyak 2 mg/100g (Fauziah, 2015). Terdapat beberapa metode untuk mengetahui kadar vitamin C pada suatu bahan pangan. Pada penelitian ini menggunakan metode spektrofotometri dengan menggunakan alat spektrofotometri UV-Vis. Data hasil penelitian pengaruh paparan sinar UV-C dan LED terhadap kadar vitamin C pada buah apel disajikan pada tabel 4.7.

Tabel 4.7. Data hasil kadar vitamin C dari paparan sinar UV-C dan LED intensitas 130 dan 150 lux

NO	Paparan	WAKTU	KADAR VITAMIN C	
		(Menit)	(mg/l)	(%)
KONTROL		(-)	142,31	0,35
1	UV-C 130 Lux (265 nm)	10	68,56	0,18
		15	54,32	0,13
		20	50,76	0,09
		25	41,66	0,07
		30	30,45	0,06
2	UV-C 150 Lux (265 nm)	10	55,03	0,15
		15	42,82	0,11
		20	34,11	0,09
		25	24,97	0,05
		30	21,79	0,04
3	LED 130 Lux (450 nm)	10	83,96	0,21
		15	76,01	0,19
		20	64,56	0,16
		25	57,66	0,13
		30	50,04	0,11
4	LED 150 Lux (450 nm)	10	80,04	0,19
		15	74,67	0,17
		20	61,09	0,15
		25	58,98	0,11
		30	48,08	0,08

Tabel 4.7 menunjukkan pengaruh waktu paparan UV-C dan LED terhadap kadar vitamin C buah apel. Tabel tersebut diambil data dari sebanyak 3 kali pengulangan. Pada paparan UV-C dengan intensitas 130 lux, sampel control memiliki persentase kadar vitamin C 0,35% dengan kadar yang masih cukup tinggi yaitu 142,31 mg/l. Percobaan pertama dengan paparan 10 menit menunjukkan hasil kadar vitamin C sebesar 0,18% dengan nilai 68,56 mg/l. Pada paparan 15 menit persentase kadar vitamin C sebesar 0,13% dengan nilai 54,32 mg/l. Paparan 20 menit persentase 0,09% dengan nilai kadar vitamin C 50,76 mg/l. lama paparan 25 menit menunjukkan kadar vitamin C sebesar 41,66 mg/l dengan persentase 0,07%.

Pada waktu 30 menit persentase pada sampel hanya sebesar 0,06% dengan kadar vitamin C 30,45 mg/l.

Paparan UV-C intensitas 150 lux juga diambil dari percobaan dengan 3 kali pengulangan. Pada paparan 10 menit mulai menunjukkan persentase kadar sebesar 0,15% dengan nilai kadar vitamin C 55,03 Mg/l. Paparan 15 menit nilai kadar vitamin C sebesar 42,82 mg/l dengan persentase 0,11%. Paparan 20 menit nilai kadar vitamin C 34,11 mg/l dengan persentase 0,09%. Nilai kadar vitamin C semakin menurun pada paparan 25 menit dengan nilai hanya sebesar 24,97 mg/l dan persentase 0,05%. Kadar vitamin C terendah terjadi pada paparan 30 menit dengan nilai kadar 21,79 mg/l dan persentase vitamin C 0,04% pada sampel.

Intensitas 130 lux pada paparan LED sampel pertama yaitu paparan 10 menit sebesar 0,21% dengan kadar vitamin C 83,96 mg/l. Pada paparan 15 menit persentase kadar vitamin C sebesar 0,19% dengan nilai 76,01 mg/l. Paparan 20 menit persentase kadar vitamin C 0,16 % sebesar 64,56 mg/l. Pada waktu paparan 25 menit persentase kadar vitamin C pada sampel sebesar 0,13% dengan nilai 57,66 mg/l. Kadar vitamin C terendah terjadi pada paparan 30 menit sebesar 50,04 mg/l dengan persentase 0,11 % vitamin C per sampelnya.

Paparan LED dengan intensitas 150 Lux juga diambil sebanyak 3 kali pengulangan. Pada paparan 10 menit menunjukkan nilai kadar vitamin C 80,04 mg/l dan persentase 0,19%. Paparan 15 menit nilai kadar vitamin C sebesar 74,67 mg/l dengan persentase 0,17%. Paparan 20 menit nilai kadar vitamin C 61,09 mg/l dengan persentase 0,15%. Nilai kadar vitamin C semakin menurun pada paparan 25 menit sebesar 58,98 mg/l dan persentase 0,11%. Kadar vitamin C terendah terjadi

pada paparan 30 menit dengan nilai 48,08 mg/l dan persentase vitamin C 0,08% pada sampel.

4.2 Pembahasan

4.2.1 Pengaruh paparan sinar UV-C dan PDI terhadap pertumbuhan bakteri.

Apel merupakan buah yang cukup digemari oleh masyarakat Indonesia. Pada umumnya apel dikonsumsi untuk memenuhi kebutuhan serat manusia. Salah satu jenis apel yang digemari adalah apel Manalagi (Malang) (Satuhu, 2004). Penelitian ini menggunakan sampel apel dengan ukuran 2x2x2 cm yang telah dilukai bakteri *Staphylococcus aureus*. Pemilihan bakteri *Staphylococcus aureus* karena pembenihan dan budidaya bakteri ini mudah tumbuh pada keadaan aerobik atau mikroaerofilik (Robert, 2010). Buah apel merupakan salah satu buah-buahan yang rentan mengalami kontaminasi mikroorganisme. Salah satu teknologi yang dapat membantu pengendalian mikroorganisme adalah desinfeksi menggunakan Teknik fotonik yaitu dengan pemaparan radiasi UV-C. Teknik iradasi ini diharapkan mampu menghambat pertumbuhan bakteri *Staphylococcus aureus* pada buah apel Manalagi.

UV-C merupakan pembunuh mikroba yang sangat kuat, dengan panjang gelombang efektif berkisar antara 100 – 280 nm. Energi yang dibawanya mudah diserap partikel, sehingga mengakibatkan gangguan pada organisme hidup, mulai dari disfungsi organ hingga kerusakan DNA dan RNA. Sinar UV-C akan mengganggu struktur DNA yang mendorong terjadinya kerusakan sel, diawali dengan pembentukan dimmer pirimidin yang membentuk ikatan antara pasangan timin yang berdekatan pada untai DNA yang sama. Dimmer tersebut mencegah

mikroorganisme yang bereplikasi sehingga tidak aktif. Selama proses paparan cahaya terhadap mikroorganisme yang menyebabkan mutasi sel yaitu jika proses paparan berlangsung dalam jangka panjang (Jay, 1996)

Berdasarkan penelitian pada table 4.1 dapat diketahui bahwa paparan sinar UV-C dapat menghambat pertumbuhan koloni bakteri *Staphylococcus aureus* pada buah apel. UV berbanding lurus dengan daya dan lama kontak dengan bahan. Semakin tinggi daya dan lama kontak dengan bahan maka dosis yang dihasilkan juga semakin tinggi. Akan tetapi dosis UV berbanding terbalik dengan total mikroba. Dosis UV adalah perkalian antara intensitas UV dengan lama waktu paparan, sedangkan intensitas berbanding terbalik dengan lama penyinaran. Apabila dosis radiasi yang diberikan rendah maka akan menyebabkan sel lebih cepat memperbaiki rantai DNA yang telah rusak, sehingga total mikroba dalam apel semakin tinggi.

Pada penelitian ini, penurunan mikroba pada sampel apel terjadi ketika intensitas tinggi dan lamanya waktu penyinaran. Hal ini mengakibatkan dosis UV menjadi tinggi. Menurut Gozalez (2010), apabila dosis tinggi maka rantai DNA pada mikroba akan rusak dan mengakibatkan penurunan jumlah koloni bakteri. Semakin besar daya yang digunakan dan semakin lama waktu paparan maka akan semakin tinggi pula efek germidikal (efek dalam membunuh mikroba) yang dihasilkan. Pada penelitian ini sesuai dengan teori Gozalez, dimana penurunan jumlah koloni bakteri *Staphylococcus aureus* terbesar dihasilkan pada intensitas 150 lux dan paparan 30 menit dengan nilai rata-rata $38,33 \times 10^3$ CFU/ml dan persentase penurunan sebesar 78%.

Strategi dekontaminasi lain untuk membantu pengendalian mikroorganisme pada makanan adalah Photodynamic Inactivation (PDI). PDI atau inaktivasi fotodinamik mengandalkan interaksi fotosensitizer tidak beracun, cahaya yang sesuai panjang gelombang dan oksigen untuk membunuh pathogen seperti bakteri. Sumber cahaya yang digunakan pada Teknik PDI adalah LED. LED merupakan salah satu sumber cahaya yang digunakan untuk fotoinaktivasi dan spektrum serapan fotosensitizer (Scubert, 2006). LED yang diterapkan dalam metode ini adalah LED biru, dikarenakan kesesuaian dengan Panjang gelombang cahaya dan absorbansi Panjang gelombang maksimum fotosensitizer yang dapat menyebabkan proses fotoinaktivasi (Tim, 2015). Penelitian ini menggunakan fotosensitizer alami yaitu kurkumin.

Berdasarkan tabel 4.1 juga diketahui penurunan jumlah koloni bakteri dengan menggunakan Teknik PDI . Pada Teknik ini, proses inkubasi sel terjadi hanya dalam waktu 1-5 menit, dimana terjadi interaksi fotosensitasi yang menyebabkan kerusakan membran suatu sel. Menurut Hamblin (2015), pada waktu yang lebih lama, molekul sensitizer terdifusi pada bagian sel dan menyebabkan kerusakan sel mikroba lebih lanjut. Pada penelitian ini dilakukan waktu yang sama dengan paparan UV-C yaitu 10,15,20,25 dan 30 menit pada tiap sampel untuk menurunkan jumlah koloni bakteri *Staphylococcus aureus*. Penurunan terbesar terjadi pada paparan 30 menit sebesar $20,67 \times 10^3$ CFU/ml dengan persentase 85%.

Faktor lain yang mendukung penurunan jumlah koloni bakteri dengan metode PDI ini salah satunya yaitu penggunaan fotosensitizer pada sampel. Bakteri *Staphylococcus aureus* merupakan bakteri gram positif yang dapat mengunaka

sensitizer untuk mempercepat proses inaktivasi sel-sel pada bakteri tersebut. Menurut Paschoal (2013), penggunaan kurkumin sebagai fotosensitizer karena energi eksitasinya yang mendekati energi eksitasi dari oksigen. Ekstrak kurkumin yang memiliki puncak serapan 300 – 500 nm juga diindikasikan cocok digunakan untuk menurunkan jumlah mikroba.

Paparan UV-C dan PDI sama sama mempunyai pengaruh dalam penurunan jumlah koloni bakteri *Staphylococcus aureus*. Jika dilihat perbandingan kedua metode dari hasil data pada tabel 4.1 dapat diketahui bahwa paparan menggunakan LED menurunkan jumlah koloni bakteri dengan nilai rata-rata lebih kecil dibanding dengan paparan UV-C. Pada paparan UV-C 30 menit, jumlah koloni bakteri sebesar $41,67 \times 10^3$ CFU/ml pada intensitas 130 lux dan 38×10^3 CFU/ml pada intensitas 150 lux. Sedangkan pada paparan LED dengan waktu perlakuan 30 menit, didapat rata-rata jumlah koloni mencapai $24,33 \times 10^3$ CFU/ml pada intensitas 130 lux dan $20,67 \times 10^3$ CFU/ml pada intensitas 150 lux.

Jika dianalisis persentase perbandingan kedua metode ditinjau dengan hasil datanya, paparan UV-C menurunkan jumlah koloni 78% pada sampel dengan paparan 30 menit. Untuk mencapai persentase penurunan sebesar itu, memerlukan waktu 30 menit pada pemaparan tiap sampel. Sedangkan pada paparan LED jumlah koloni yang turun dengan nilai tertinggi yaitu pada paparan 30 menit mencapai 85%. Dari segi waktu, tentu paparan LED lebih efisien daripada menggunakan UV-C. Sesuai dengan hasil uji DMRT bahwa perlakuan terbaik pada penelitian ini yaitu hasil sampel pada paparan UV-C 150 Lux dengan lama paparan 30 menit dan LED dengan intensitas 150 lux dan lama paparan 30 menit.

4.1.2 Pengaruh paparan sinar UV-C dan PDI terhadap kadar Vitamin C pada buah apel.

Vitamin C dianggap sebagai indeks kualitas pada buah. Vitamin C adalah nutrisi yang larut dalam air, yaitu senyawa organik yang berperan penting dalam menjaga Kesehatan. Nama kimia vitamin C dari bentuk utamanya yaitu asam askorbat. Adapun sumber vitamin C umumnya terdapat pada bahan pangan nabati, misalnya sayuran dan buah buahan (Cakrawati, 2012). Salah satu buah-buahan yang sarat akan vitamin C adalah buah Apel Manalagi.

Vitamin C merupakan vitamin yang mudah rusak, hal ini dikarenakan vitamin C mudah sekali terdegradasi. Baik oleh temperature, cahaya maupun udara sekitar sehingga kadar vitamin C pada apel dapat berkurang. Dalam keadaan terlarut, vitamin C ini mudah rusak dikarenakan adanya proses oksidasi terutama apabila terkena cahaya dan panas (Barka,2000).

Paparan UV-C berpengaruh pada sampel yang diberi paparan selama 10, 15, 20, 25 dan 30 menit. Hal ini sesuai pada pernyataan (Barka et. Al., 2000) bahwa penyinaran UV-C dapat menurunkan aktivitas enzim askorbat oksidase (Vitamin C). Berdasarkan tabel tersebut juga dapat dilihat bahwa waktu paparan UV-C berbanding lurus terhadap kadar vitamin C, dimana semakin besar waktu paparan UV-C terhadap sampel maka kadar vitamin C akan semakin rendah. Vitamin C merupakan vitamin yang sangat sensitive terhadap oksidasi. Proses oksidasi ini dapat dipercepat oleh adanya cahaya dari UV-C. Jika kandungan vitamin C dalam sampel apel hendak dipertahankan maka paparan UV-C dilakukan dalam waktu yang singkat, serta perlu diperhatikan dengan intensitas yang rendah, daya lampu, dan jarak antara lampu ke objek (Anonim, 2007).

Penggunaan LED yang digunakan untuk memapari objek juga berpengaruh terhadap kadar vitamin C buah apel. Pada penelitian ini menggunakan LED warna biru dengan lama waktu paparan 10,15,20,25 dan 30 menit. LED biru digunakan karena dapat menurunkan kadar vitamin C pada objek dikarenakan terjadi eksitasi electron didalam atom. LED warna biru juga memiliki daya serap pada sampel yang rendah karena daya paparannya paling kecil diantara warna LED lainnya. Jika dibandingkan dengan objek yang dipapari UV-C , paparan menggunakan LED mempunyai selisih nilai kadar yang cukup jauh.

4.3 Integrasi Penelitian dalam Al-Qur'an

Apel 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 B2 dan vitamin C (Soelarso, 1997). Salah satu jenis apel yang banyak dikonsumsi masyarakat Indonesia adalah apel Manalagi, karena rasanya yang manis, enak, mudah didapat dan harganya cukup terjangkau (Wulandari, 2012)

Apel pasca panen tidak 100% dapat dikonsumsi. Hal ini dikarenakan beberapa hal, salah satunya adalah buah apel yang terkontaminasi mikroorganisme berlebihan dan mengakibatkan apel mudah mengalami pembusukan. Salah satu cara yang bisa dilakukan untuk menghindari apel yang tidak layak konsumsi pasca panen yaitu dengan cara dekontaminasi. Dekontaminasi adalah upaya untuk mengurangi dan menghilangkan kontaminasi oleh mikroorganisme pada suatu objek (trimurti, 2021).

Strategi untuk pengendalian mikroorganisme dan mengurangi jumlah koloni bakteri pada apel dengan cara dekontaminasi berdasarkan keramahan lingkungan terdapat 2 macam, yaitu dengan ramah lingkungan dan tidak ramah lingkungan. Strategi ramah lingkungan salah satunya yaitu Teknik fotonik dengan pemaparan radiasi UV-C. Teknik ini telah banyak digunakan karena dipastikan aman untuk bahan pangan dan lingkungan (Gayana,2013). Strategi tidak ramah lingkungan biasanya dilakukan dengan penggunaan larutan kimia seperti klorin, asam klorida, dll. Strategi ini harus dibatasi karena penggunaan zat aditif yang berlebihan dapat beresiko fatal bagi kesehatan manusia dan lingkungan (Correa,2020).

Dalam syari'at islam, salah satu tujuan pokoknya adalah menjaga jiwa (*Hifz an-nafs*). Islam menganjurkan untuk memakan makanan yang sehat dan mencegah penggunaan setiap bahan yang membahayakan seperti penggunaan zat kimia yang berlebihan. Maka dari itu dilakukan strategi dekontaminasi mikroorganisme dengan sinar UV C dan LED untuk mengontrol dan memastikan bahwa makanan aman dari mikroorganisme yang merugikan. Hal ini sesuai dengan firman Allah SWT Q.S An Nisa (4:29) :

يَا أَيُّهَا الَّذِينَ آمَنُوا لَا تَأْكُلُوا أَمْوَالَكُمْ بَيْنَكُمْ بِالْبُطْلِ إِلَّا أَنْ تَكُونَ بَحْرَةً عَنْ تَرَاضٍ مِّنْكُمْ ۚ وَلَا تَقْتُلُوا أَنْفُسَكُمْ ۚ إِنَّ اللَّهَ كَانَ بِكُمْ رَحِيمًا

Artinya : “Hai orang-orang yang beriman, janganlah kamu saling memakan harta sesamamu dengan jalan yang batil, kecuali dengan jalan perniagaan yang berlaku dengan suka sama-suka di antara kamu. Dan janganlah kamu membunuh dirimu; sesungguhnya Allah adalah Maha Penyayang kepadamu”

Menurut tafsir As Sa'di, makna dari kalimat *janganlah kamu membunuh dirimu* adalah janganlah sebagian kalian membunuh sebagian yang lain, dan janganlah seseorang membunuh dirinya, dan termasuk dalam hal itu adalah

menjerumuskan diri sendiri kedalam kehancuran dan melakukan perbuatan-perbuatan berbahaya yang mengakibatkan kematian dan kebinasaan. Berkaitan dengan hal tersebut, Ketua Komisi Fatwa Majelis Ulama Indonesia (MUI) mengaitkan dengan penggunaan zat kimia yang berlebihan dalam makanan hukumnya haram, karena dapat membahayakan tubuh manusia dan termasuk menjerumuskan diri kedalam kehancuran sesuai dengan Q.S An-Nisa ayat 29 diatas.

Berdasarkan konsep *Hifz an Nafs* diatas, maka digunakan strategi dekontaminasi dengan paparan radiasi UV-C untuk menurunkan jumlah koloni bakteri pada apel agar lebih layak konsumsi. Penggunaan radiasi UV-C telah banyak digunakan untuk membunuh mikroorganisme seperti bakteri, dan dipastikan aman untuk pangan dan lingkungan (Moura, 2018).

Syari'at Islam juga mengajarkan aturan dalam mengonsumsi makanan yang baik dan tidak membahayakan diri sendiri. Sebagaimana dalam firman Allah SWT Q.S Al-Maidah (5): 88 :

وَكُلُوا مِمَّا رَزَقَكُمُ اللَّهُ حَلَالًا طَيِّبًا وَاتَّقُوا اللَّهَ الَّذِي أَنْتُمْ بِهِ مُؤْمِنُونَ

Artinya : “Dan makanlah dari apa yang telah diberikan Allah kepadamu sebagai rezeki yang halal dan baik, dan bertakwalah kepada Allah yang kamu beriman kepada-Nya”

Imam At-Thabari dalam Tafsir *At-Tahrir wat Tanwir* menjelaskan bahwa ayat diatas adalah perintah Allah untuk orang-orang yang beriman agar memakan makanan-makanan yang halal lagi *thayyib* (baik). Perintah tersebut menggunakan bentuk fiil amar كُنْ sebagai bentuk kewajiban. Kewajiban manusia untuk memakan yang halal dan baik. Sedangkan Allah mengharamkan makanan bukan tanpa sebab. Allah Maha segala-Nya, mengetahui apapun di dalam makanan yang diharamkan-

Nya, seperti adanya kotoran, racun atau zat kimia yang membahayakan, sehingga Allah melarang manusia untuk memakannya.

Konsep طَيِّبًا menurut Imam Al-Qurthubi berdasarkan tafsir dalam Q.S al Maidah adalah makanan yang baik yaitu makanan yang bersih, sehat, bergizi, lezat, tidak membahayakan tubuh dan bermanfaat bagi Kesehatan. Menurut Adam (2017), *thayyib* berarti makanan yang tidak kotor atau rusak dari segi zatnya atau tercampur benda najis, makanan yang mengandung selera konsumennya dan tidak membahayakan fisik serta akalnya (Adam, 2017). Seperti buah lainnya, buah apel rentan mengalami kontaminasi mikroorganisme.. Hal tersebut bisa membahayakan bagi tubuh apabila tetap dikonsumsi, sehingga konsep *thayyib* tidak terpenuhi. Maka dari itu dilakukan usaha agar buah apel menjadi *thayyib*.

Dekontaminasi yang diterapkan pada buah apel yang terkontaminasi bakteri digunakan untuk mengontrol dan memastikan aman dari mikroorganisme yang merugikan (Deng, 2019). Teknologi yang digunakan dalam strategi dekontaminasi dalam penelitian ini adalah radiasi UV-C dan LED. Sebagaimana hasil dalam penelitian ini yaitu paparan UV-C dan LED berpengaruh untuk menurunkan bakteri yang terkontaminasi pada apel. Oleh sebab itu, islam telah mengatur konsep makanan *thayyib* yang sangat penting bagi keselamatan jiwa, raga dan akal manusia. Sedangkan manusia mengaplikasikan konsep *thayyib* dengan ikhtiar yang didasari pada ilmu pengetahuan dan syariat Islam.

BAB V

KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

Penelitian ini dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Pemberian paparan UV-C dengan dua intensitas yaitu 130 lux dan 150 lux memberikan pengaruh pada penurunan jumlah koloni bakteri *Staphylococcus aureus*. Jumlah koloni bakteri terendah terjadi pada intensitas 150 lux saat lama paparan 30 menit yaitu $38,33 \times 10^3$ CFU/ml , dengan persentase penurunan sebesar 78 %.
2. Pemberian paparan LED yang dibantu fotosensitizer (ekstrak kurkumin) dengan dua intensitas yaitu 130 lux dan 150 lux memberikan pengaruh pada penurunan jumlah koloni bakteri *Staphylococcus aureus*. Jumlah koloni bakteri terendah terjadi pada intensitas 150 lux saat lama paparan 30 menit yaitu $20,67 \times 10^3$ CFU/ml , dengan persentase penurunan sebesar 85 %.
3. Paparan UV-C dan LED berpengaruh pada kadar vitamin C apel manalagi. Semakin lama paparan , kadar vitamin C akan semakin berkurang karena adanya proses oksidasi pada UV-C dan eksitasi electron pada LED. Hasilnya kadar vitamin C pada intensitas 150 Lux dan waktu paparan 30 menit menunjukkan kadar terkecil. Dengan nilai kadar vitamin C masing-masing pada UV-C dan LED sebesar 21,79 mg/l dan 48,08 mg/l.

5.2 Saran

Saran untuk peneliti selanjutnya :

1. Peneliti dapat menggunakan paparan UV-C dan LED dengan selisih variasi intensitas yang lebih jauh pada masing-masing variasi agar dapat mengetahui lebih jelas hasil dari pengaruh intensitas UV-C dan LED.
2. Peneliti dapat menambah waktu paparan dengan paparan yang lebih lama untuk hasil dekontaminasi mikroorganisme yang maksimal.

DAFTAR PUSTAKA

- Alves, E., Faustino, M.A.F., Neves, M.G.P.M.S., Cunha, Â., Nadais, H., & Almeida, A. 2014. Potential Applications of Porphyrins in Photodynamic Inactivation beyond the Medical Scope. *Journal of Photochemistry and Photobiology C: Photochemistry Reviews*, 22, pp.34–57.
- Anonim, 2020. Apel Manalagi atau Apel Malang. <https://jatimnow.com/baca-30965-dikirim-langsung-dari-petani-malang-apel-manalagi-melimpah-di-pios>.
- AOAC. 2005. *Official Methods of Analytical Chemistry*. University of America. Washington D.C.
- Ariyadi, T., Sintadewi, S. Pengaruh Sinar Ultraviolet terhadap Pertumbuhan Bakteri *Bacillus* sp sebagai Bakteri Kontaminan. [Online]. Available at: [http://Jurnal.unimus.ac.id.2009;2\(2\)](http://Jurnal.unimus.ac.id.2009;2(2))
- Astuti, Dyah Suryani., Izak, Djoni R. 2011. Potensi Photodinamik Inaktivasi *Staphylococcus Aureus* Dan *Vibrio Cholerae* Dengan Endogen Photosensitizer Pada
- Astuti, SD, Zaidan, A., Setiawati, EM, Suhariningsih, 2016, Chlorophyll mediated fotodinamik inaktivasi laser biru pada *Streptococcus mutans*, Konferensi AIP Prosiding 1718, 120001
- Bachman, R. 1995. Sterilization by Intense UV Radiation. *Brown Boveri Rev.* 62. 206-209.
- Balaban, N., & Rasooly, A. (2000). Review *Staphylococcal enterotoxins*. *J.Food Microbiol*, 61, 1–10.
- Brooks, Geo F., Butel, Janet S., Morse, Stephen A. 2005. *Mikrobiologi Kedokteran*. 1st ed. Salemba Medika: Jakarta
- C. Goodburn, C.A. Wallace, The microbiological efficacy of decontamination methodologies for fresh produce: a review, *Food Control* 32 (2013) 418–427,
- Capuccino, J., Natalie S. 2007. *Microbiology: a Laboratory Manual*. San Fransisco: Pearson Education.
- Correa, 2018. Komposisi dan aktivitas antimalaria ekstrak temulawak diperoleh dengan kombinasi proses ekstraksi menggunakan pelarut superkritis CO₂, etanol dan air. Vol.2 hlm. 122-129,
- Droge, W. 2002. Free Radicals in The Physiological Control off Cell Function. *Physiological Rev.* Jan;82(1):47-95
- E. Gayán, S. Condón, I. Álvarez. 2013 Biological aspects in food preservation by ultraviolet light: a review, *Food Bioprocess Technol.* 7;1–20.
- Effendy, Rustam dkk. 2007. *Medan Elektromagnetika Terapan*. Jakarta: Erlangga

- EPA. 1999. EPA Guidance Manual Alternative Disinfectant and Oxidants. Center for Environmental Research Information, Cincinnati, OH.
- Fauzi, Angga Dito. 2019. Fotodinamik Inaktivasi, Solusi Untuk Mereduksi Biofilm Bakteri. Departemen Fisika Universitas Airlangga.
- Freeman C.L dan Freeman C.K. 2006. Staphylococcus aureus infections. USA: Chelsea House Publisher
- Glueck, B. Schamberger, P. Eckl, K. Plaetzer, New horizons in microbiological food safety: Photodynamic Decontamination based on a curcumin derivative, Photochem. Photobiol. Sci. 16 (2017) 1784–1791
- Gorman, A.A. and Hamblett, I., (1994), "Kurkumin-derived transients : a pulsed laser and pulse radiolysis study", J.Photochem.Photobiol, 389- 398
- Gustavo., Gould., and Grahame, W. 2000. Innovation In Food Processing. Marcel dekker. New York
- Habib, F ., Rin R., Durani N., Bhutto A. L., Buriro R.S., Tunio A., Aijaz N., Lakho S. A., Bugti A. G., Shoaib M. 2015. Morphological and Cultural Characterization of Staphylococcus aureus Isolated from Different Animal Species. Journal of Applied Environmental and Biological Science. ISSN: 2090-4274. Vol.5, No.2
- Haddadin, A.S., Fappiano S. A., Lipsett P. A. 2002. Methicillin resistant Staphylococcus aureus (MRSA) in the Intensive Care Unit. Postgrad Med J. 78:385-392
- Hamblin. 2016. Antimicrobial photodynamic inactivation: a bright new technique to kill resistant microbes, Curr. Opin. Microbiol. 33 ;67–73
- Hariono, Budi. 2012. Pengembangan Sistem Pasteurisasi Berbasis Kombinasi Ultraviolet (UV) dan Medan Pulsa Listrik Tegangan Tinggi (HPEF) untuk Susu Kambing. Disertasi, Bogor:IPB
- Haryono, Rudi. 2012. Keperawatan Medical Bedah Sistem Pencernaan. Yogyakarta: Gosyen Publisher.
- Indrawati, R., Wijaya, W., Prihastyanti, M.N.U., Heriyanto, Prasetyo, B., & Limantara, L., 2010. Efisiensi Ekstraksi Bakterioklorofil Dan Karotenoid Dari Rhodospseudomonas palustris Dengan Berbagai Rasio Pelarut Aseton Dan Metanol. In Prosiding Seminar Nasional Sains Dan Pendidikan Sains, pp.51–56.
- Jawetz, Melnik, Adelberg, 2012. Medical Microbiology. 25th ed. USA: Appleton & Lange.
- Jay, J M. 1992. Modern Food Microbiology. Fourth Edition, New York, Michigan Publishing.
- Jay, J. M. 1996. Modern Food Microbiology. Fifth edition. International Thomson Publishing. Florance
- Karu, Tiina. 2003. Terapi Laser Daya Rendah.CRC Tekan LCC. New York

- Kempa dkk, 2018. Sifat fisikokimia fotosensitizer porfirin potensial untuk terapi fotodinamik. *Spectrochim. Acta - Bagian A Mol. Biomol. Spektrosk.*, vol. 146, hlm. 249– 254, 2015
- Koutchma TN, Larry JF, Carmen IM 2009. *Ultraviolet Light in Food Technology: Principles and Application*. Boca Raton USA: CRC.
- Kurniawati, L. 2010. *Pengaruh Pencahayaan LED*. Jakarta: Fakultas Teknik Universitas Indonesia
- L.Z. Deng, A.S. Mujumdar, Z. Pan, S.K. Vidyarthi, J. Xu, M. Zielinska, H.W. Xiao, 2019.
- M. Hussain, C. Dawson. 2013. Economic impact of food safety outbreaks on food businesses *Foods* 2 585–589.
- M. Verma, C. Plaisier, C. van Wagenberg, T. Achterbosch. 2019. A systems approach to food loss and solutions: understanding practices, causes, and indicators, *Sustainability* 11 ; 579,
- Mardianto AI., WP Lestari, 2020. Inaktivasi Fotodinamik *Streptococcus mutan* Bakteri dengan Fotosensitizer *Moringa oleifera* Diaktifkan oleh Light Emitting Diode (LED). *Jurnal Fisika: Conference Series* 1505
- Mesquita, M.Q., Dias, C.J., Neves, M.G.P.M.S., Almeida, A., & Faustino, M.A.F., 2018. Revisiting Current Photoactive Materials for Antimicrobial Photodynamic Therapy. *Molecules*, 23 (2424), pp.1–47.
- Morgan, R. 2009. UV “Green” Light Disinfection. *Dairy Industry. Intl.*, 54(11): 33-35
- Moura, K. Van Den Broek, A.S. de Mello, 2018. Effect of ultraviolet light, organic acids, and bacteriophage on *Salmonella* populations in ground beef. *Sci.* 139;44–48,
- Muller, a., Stahl, M. R., Graef, V., Franz, C. A. M., and Huch, M. 2011. UV-C Treatment of Juices to Inactivate Microorganisms using Dean Vortex Technology. *Jurnal of Food Engineering* 107 , 268-275.
- Neil A. Campbell, 2012. *Biologi Edisi Ke delapan Jilid 2*. Jakarta : Erlangga. hal 119.
- Nurchayati, E. 2014. *Khasiat dan Manfaat Dahsyatnya Kulit Apel untuk Kesehatan dan Penyembuhan*. Jakarta: Jendela Sehat.
- Oguma, R. Kita, S. Takizawa. 2016. Effects of arrangement of UV light-emitting diodes on the inactivation efficiency of microorganisms in water, *Photochem. Photobiol.* 92;314–317.
- Oliveira, C. Kurachi, V.S. Bagnato. 2019. Photolarvicidal effect of curcuminoids from *Curcuma longa* Linn. against *Aedes aegypti* larvae, *J. Asia Pac. Entomol.* 22.151–158.
- Papagorgeous, P, et al., 2000. Fototerapi dengan Cahaya Biru (415nm) dan Merah (660nm) di Pengobatan Jerawat Vulgaris. *British Journal of Dermatology*, 142 pp 973-978

- Penyinaran Led Biru (430 ± 4) Nm Dan Merah (629 ± 6) Nm. Berk.Penel Hayati : Universitas Airlangga
- Robert. 2010. *Staphylococcus aureus* infection. Kanisius:Yogyakarta
- Ross DA, 1979. *Optoelectronic Devices and Optical Imaging Techniques*, The Macmillan Press Ltd, p. 11–19.
- S.O. Elias, L.T. Decol, E.C. Tond. 2018. Foodborne outbreaks in Brazil associated with fruits and vegetables: 2008 through 2014, *Food Qual. Saf* 2 ; 173–181
- Saitawee, A. Teerakapong, NP Morales, P. Jitprasertwong, dan D. Hormdee. 2018. Terapi fotodinamik ekstrak *Curcuma longa* dirangsang dengan cahaya biru terhadap *Aggregatibacter actinomycetemcomitans*. *Photodiagnosis Photodyn.*
- Santosa, V., & Limantara, L., 2010. Photodynamic Therapy: New Light in Medicine World. *Indonesian Journal of Chemistry*, 8(2), pp.279–91.
- Satuhu, S. 2004. *Penanganan dan Pengolahan Buah*. Jakarta: Penebar Swadaya.
- Schubert E.F., 2006. *Light Emitting Diodes*, 2nd ed., Cambridge University Press, USA
- Setiawatie, EM, Astuti, SD, Zaidan, AH, 2016, Fotodinamik antimikroba in vitro terapi (aPDT) dengan LED biru untuk mengaktifkan Klorofil Alfalfa *Medicago sativa* L pada *Aggregatibacter actinomycetemcomitans*, *J.Int. Lekuk. Med. Res*, 9 (2) hlm 118-125
- Silva, C. Kurachi, V.S. Bagnato, N.M. Inada. 2013). Fast elimination of onychomycosis by hematoporphyrin derivative-photodynamic therapy, *Photodiagnosis Photodyn. Ther.* 10 ; 328–330
- Soelarso, R Bambang. 1997. *Budidaya Apel*. Yogyakarta:Kanisius.
- Souza, N.M. Inada, F.P. Venturini, C.C. Carmona-Vargas, S. Pratavieira, T.Q. Corrêa, K.C. Blanco, N.M. Inada, M.F. Hortenci, A.A. Costa, E.P.P. Silva, S.P.C. Gimenes, R.L. de Holanda e Silva, W.M. Figueiredo, V.S. Bagnato. 2017. Manual operated ultraviolet surface decontamination for healthcare environments, *Photomed. Laser Surg.* 35 (12)
- Takasai AS, Aoki AI, Mizutani KJ, Schwarz F, Sculean A, Wang CY et al. 2009. Application of Antimicrobial Photodynamic Therapy in Periodontol 2000; 51: 109-140
- Tim, M. 2015. Strategies to Optimize Photosensitizers for Photodynamic Inactivation of Bacteria. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 150, pp.2–10.
- Tortik, A. Spaeth, K. Plaetzer. 2014. Photodynamic decontamination of foodstuff from *Staphylococcus aureus* based on novel formulations of curcumin, *Photochem. Photobiol. Sci.* 13;1402–1409.
- USDA . United States Departement of Agriculture. 2000. *Egg Gradding Manual*. United State Departement of Agriculture, United State.

- Veramika, dkk .2016. Penentuan Nilai Sun Protection Factor (SPF) Sinar Matahari dengan Menggunakan Kain Katun, Poliester dan Rayon di pantai KUTA . Buletin Fisika Vo 17 No.1.
- Waluyo L. 200. Teknik Metode Dasar dalam Mikrobiologi. Malang:UMM.
- Wardle B., 2009. Prinsip dan Aplikasi Fotokimia, John Wiley & sons Ltd
- Wulandari A 2012. . Daya Antibakteri Ekstrak Buah Apel Manalagi terhadap Bakteri Salmonella typhosa. Jurnal Healthy Science A AKMAL ;2: 1-3

LAMPIRAN

Lampiran 1. Data Hasil Penelitian

1. Data Hasil Penelitian Jumlah Koloni Bakteri *Staphylococcus aureus* pada paparan UV-C dan LED

NO	Intensitas Cahaya	Waktu (menit)	Σ koloni bakteri (cfu/ml)			rata-rata
			1	2	3	(cfu/ml)
Kontrol			157 x 10 ³	174 x 10 ³	194 x 10 ³	175 x 10 ³
1	UV-C 130 Lux (265 nm)	10	80 x 10 ³	89 x 10 ³	90 x 10 ³	86,33 x 10 ³
		15	74 x 10 ³	75 x 10 ³	78 x 10 ³	75,67 x 10 ³
		20	65 x 10 ³	66 x 10 ³	67 x 10 ³	66,00 x 10 ³
		25	52 x 10 ³	54 x 10 ³	55 x 10 ³	53,67 x 10 ³
		30	40 x 10 ³	43 x 10 ³	42 x 10 ³	41,67 x 10 ³
2	UV-C 150 Lux (265 nm)	10	86 x 10 ³	85 x 10 ³	84 x 10 ³	85,00 x 10 ³
		15	76 x 10 ³	75 x 10 ³	74 x 10 ³	75,00 x 10 ³
		20	67 x 10 ³	66 x 10 ³	67 x 10 ³	66,67 x 10 ³
		25	59 x 10 ³	56 x 10 ³	58 x 10 ³	57,67 x 10 ³
		30	39 x 10 ³	39 x 10 ³	37 x 10 ³	38,33 x 10 ³
3	LED 130 Lux (450 nm)	10	64 x 10 ³	63 x 10 ³	64 x 10 ³	63,67 x 10 ³
		15	53 x 10 ³	52 x 10 ³	53 x 10 ³	52,67 x 10 ³
		20	45 x 10 ³	43 x 10 ³	44 x 10 ³	44,00 x 10 ³
		25	38 x 10 ³	31 x 10 ³	33 x 10 ³	34,00 x 10 ³
		30	26 x 10 ³	23 x 10 ³	24 x 10 ³	24,33 x 10 ³
4	LED 150 Lux (450 nm)	10	62 x 10 ³	61 x 10 ³	60 x 10 ³	61,00 x 10 ³
		15	50 x 10 ³	51 x 10 ³	52 x 10 ³	51,00 x 10 ³
		20	43 x 10 ³	40 x 10 ³	39 x 10 ³	40,67 x 10 ³
		25	30 x 10 ³	29 x 10 ³	31 x 10 ³	30,00 x 10 ³
		30	21 x 10 ³	19 x 10 ³	22 x 10 ³	20,67 x 10 ³

2. Data Hasil Penelitian Kadar Vitamin C

NO	Paparan	waktu	Pengulangan (mg/l)			rata-rata
			1	2	3	(mg/l)
1	UV-C 130 lux	10	41.996	72.320	50.798	55.038
		15	30.468	53.842	44.177	42.829
		20	26.392	44.842	31.121	34.118
		25	22.413	22.331	30.186	24.977
		30	20.468	21.398	21.798	21.221
2	UV-C 150 lux	10	81.133	72.320	68.681	74.045
		15	61.657	50.456	58.681	56.931
		20	40.468	40.200	50.798	43.822
		25	36.320	30.456	34.104	33.627
		30	31.133	21.398	23.774	25.435
3	LED 130 lux	10	85.876	82.076	83.765	83.906
		15	72.145	69.674	76.011	72.610
		20	69.908	64.987	74.177	69.691
		25	65.876	62.076	67.765	65.239
		30	62.145	58.674	61.011	60.610
4	LED 130 lux	10	82.310	89.013	80.202	83.842
		15	77.645	80.654	75.626	77.975
		20	72.310	75.481	71.004	72.932
		25	67.310	71.013	66.202	68.175
		30	63.645	67.654	62.626	64.642

Lampiran 2. Perhitungan

1. Data Perhitungan Rata-Rata Koloni Bakteri *Staphylococcus aureus*

Rata- rata koloni bakteri pada bakteri kontrol

$$\sum \text{sel/ml} = \sum \text{koloni} \times \frac{1}{10^{-n}} = 175 \times \frac{1}{10^{-3}} = 175 \times 10^3 \text{ CFU/ml}$$

1.1 Perhitungan pada paparan UV-C intensitas 130 Lux

a. Rata- rata koloni bakteri pada paparan selama 10 menit

$$\sum \text{sel/ml} = \sum \text{koloni} \times \frac{1}{10^{-n}} = 86,33 \times \frac{1}{10^{-3}} = 86,33 \times 10^3 \text{ CFU/ml}$$

b. Rata- rata koloni bakteri pada paparan selama 15 menit

$$\sum \text{sel/ml} = \sum \text{koloni} \times \frac{1}{10^{-n}} = 75,67 \times \frac{1}{10^{-3}} = 75,67 \times 10^3 \text{ CFU/ml}$$

c. Rata- rata koloni bakteri pada paparan selama 20 menit

$$\sum \text{sel/ml} = \sum \text{koloni} \times \frac{1}{10^{-n}} = 66 \times \frac{1}{10^{-3}} = 66 \times 10^3 \text{ CFU/ml}$$

d. Rata- rata koloni bakteri pada paparan selama 25 menit

$$\sum \text{sel/ml} = \sum \text{koloni} \times \frac{1}{10^{-n}} = 53,67 \times \frac{1}{10^{-3}} = 53,67 \times 10^3 \text{ CFU/ml}$$

e. Rata- rata koloni bakteri pada paparan selama 30 menit

$$\sum \text{sel/ml} = \sum \text{koloni} \times \frac{1}{10^{-n}} = 41,67 \times \frac{1}{10^{-3}} = 41,67 \times 10^3 \text{ CFU/ml}$$

1.2 Perhitungan pada paparan UV-C intensitas 140 Lux

a. Rata- rata koloni bakteri pada paparan selama 10 menit

$$\sum \text{sel/ml} = \sum \text{koloni} \times \frac{1}{10^{-n}} = 85 \times \frac{1}{10^{-3}} = 85 \times 10^3 \text{ CFU/ml}$$

b. Rata- rata koloni bakteri pada paparan selama 15 menit

$$\sum \text{sel/ml} = \sum \text{koloni} \times \frac{1}{10^{-n}} = 75 \times \frac{1}{10^{-3}} = 75 \times 10^3 \text{ CFU/ml}$$

c. Rata- rata koloni bakteri pada paparan selama 20 menit

$$\sum \text{sel/ml} = \sum \text{koloni} \times \frac{1}{10^{-n}} = 66,67 \times \frac{1}{10^{-3}} = 66,67 \times 10^3 \text{ CFU/ml}$$

d. Rata- rata koloni bakteri pada paparan selama 25 menit

$$\sum \text{sel/ml} = \sum \text{koloni} \times \frac{1}{10^{-n}} = 57,67 \times \frac{1}{10^{-3}} = 57,67 \times 10^3 \text{ CFU/ml}$$

e. Rata- rata koloni bakteri pada paparan selama 30 menit

$$\sum \text{sel/ml} = \sum \text{koloni} \times \frac{1}{10^{-n}} = 38,33 \times \frac{1}{10^{-3}} = 38,33 \times 10^3 \text{ CFU/ml}$$

1.3 Perhitungan pada paparan LED intensitas 130 Lux

Rata- rata koloni bakteri pada bakteri control adalah :

$$\sum \text{sel/ml} = \sum \text{koloni} \times \frac{1}{10^{-n}} = 142 \times \frac{1}{10^{-3}} = 142 \times 10^3 \text{ CFU/ml}$$

a. Rata- rata koloni bakteri pada paparan selama 10 menit

$$\sum \text{sel/ml} = \sum \text{koloni} \times \frac{1}{10^{-n}} = 63,67 \times \frac{1}{10^{-3}} = 63,67 \times 10^3 \text{ CFU/ml}$$

b. Rata- rata koloni bakteri pada paparan selama 15 menit

$$\sum \text{sel/ml} = \sum \text{koloni} \times \frac{1}{10^{-n}} = 52,67 \times \frac{1}{10^{-3}} = 52,67 \times 10^3 \text{ CFU/ml}$$

c. Rata- rata koloni bakteri pada paparan selama 20 menit

$$\sum \text{sel/ml} = \sum \text{koloni} \times \frac{1}{10^{-n}} = 44 \times \frac{1}{10^{-3}} = 44 \times 10^3 \text{ CFU/ml}$$

d. Rata- rata koloni bakteri pada paparan selama 5 menit

$$\sum \text{sel/ml} = \sum \text{koloni} \times \frac{1}{10^{-n}} = 34 \times \frac{1}{10^{-3}} = 34 \times 10^3 \text{ CFU/ml}$$

e. Rata- rata koloni bakteri pada paparan selama 8 menit

$$\sum \text{sel/ml} = \sum \text{koloni} \times \frac{1}{10^{-n}} = 24,33 \times \frac{1}{10^{-3}} = 24,33 \times 10^3 \text{ CFU/ml}$$

1.4 Perhitungan pada paparan LED intensitas 140 Lux

a. Rata- rata koloni bakteri pada paparan selama 10 menit

$$\sum \text{sel/ml} = \sum \text{koloni} \times \frac{1}{10^{-n}} = 61 \times \frac{1}{10^{-3}} = 61 \times 10^3 \text{ CFU/ml}$$

b. Rata- rata koloni bakteri pada paparan selama 15 menit

$$\sum \text{sel/ml} = \sum \text{koloni} \times \frac{1}{10^{-n}} = 51 \times \frac{1}{10^{-3}} = 51 \times 10^3 \text{ CFU/ml}$$

c. Rata- rata koloni bakteri pada paparan selama 20 menit

$$\sum \text{sel/ml} = \sum \text{koloni} \times \frac{1}{10^{-n}} = 40,67 \times \frac{1}{10^{-3}} = 40,67 \times 10^3 \text{ CFU/ml}$$

d. Rata- rata koloni bakteri pada paparan selama 25 menit

$$\sum \text{sel/ml} = \sum \text{koloni} \times \frac{1}{10^{-n}} = 30 \times \frac{1}{10^{-3}} = 30 \times 10^3 \text{ CFU/ml}$$

e. Rata- rata koloni bakteri pada paparan selama 30 menit

$$\sum \text{sel/ml} = \sum \text{koloni} \times \frac{1}{10^{-n}} = 20,67 \times \frac{1}{10^{-3}} = 20,67 \times 10^3 \text{ CFU/ml}$$

2. Perhitungan Persentase Penurunan Bakteri Staphylococcus aureus

2.1 Persentase penurunan pada paparan UV-C intensitas 130 lux

- a. Persentase penurunan bakteri Staphylococcus aureus selama 10 menit

$$= \frac{N_0 - N}{N_0} \times 100 \% = \frac{175 - 86,33}{175} \times 100 \% = 52\%$$

- b. Persentase penurunan bakteri Staphylococcus aureus selama 15 menit

$$= \frac{N_0 - N}{N_0} \times 100 \% = \frac{175 - 75,67}{175} \times 100 \% = 57\%$$

- c. Persentase penurunan bakteri Staphylococcus aureus selama 20 menit

$$= \frac{N_0 - N}{N_0} \times 100 \% = \frac{175 - 66}{175} \times 100 \% = 62\%$$

- d. Persentase penurunan bakteri Staphylococcus aureus selama 25 menit

$$= \frac{N_0 - N}{N_0} \times 100 \% = \frac{175 - 53,67}{175} \times 100 \% = 69\%$$

- e. Persentase penurunan bakteri Staphylococcus aureus selama 30 menit

$$= \frac{N_0 - N}{N_0} \times 100 \% = \frac{175 - 41,67}{175} \times 100 \% = 76\%$$

2.2 Persentase penurunan pada paparan UV-C intensitas 140 lux

- a. Persentase penurunan bakteri Staphylococcus aureus selama 10 menit

$$= \frac{N_0 - N}{N_0} \times 100 \% = \frac{175 - 85}{175} \times 100 \% = 51\%$$

- b. Persentase penurunan bakteri Staphylococcus aureus selama 15 menit

$$= \frac{N_0 - N}{N_0} \times 100 \% = \frac{175 - 37,5}{175} \times 100 \% = 57\%$$

- c. Persentase penurunan bakteri Staphylococcus aureus selama 20 menit

$$= \frac{N_0 - N}{N_0} \times 100 \% = \frac{175 - 66,67}{175} \times 100 \% = 62\%$$

- d. Persentase penurunan bakteri Staphylococcus aureus selama 25 menit

$$= \frac{N_0 - N}{N_0} \times 100 \% = \frac{175 - 57,67}{175} \times 100 \% = 67\%$$

- e. Persentase penurunan bakteri Staphylococcus aureus selama 30 menit

$$= \frac{N_0 - N}{N_0} \times 100 \% = \frac{175 - 38,33}{175} \times 100 \% = 78\%$$

2.3 Persentase penurunan pada paparan LED intensitas 130 lux

- a. Persentase penurunan bakteri *Staphylococcus aureus* selama 10 menit

$$= \frac{N_0 - N}{N_0} \times 100 \% = \frac{142 - 63,67}{142} \times 100 \% = 55\%$$

- b. Persentase penurunan bakteri *Staphylococcus aureus* selama 15 menit

$$= \frac{N_0 - N}{N_0} \times 100 \% = \frac{142 - 52,67}{142} \times 100 \% = 63\%$$

- c. Persentase penurunan bakteri *Staphylococcus aureus* selama 20 menit

$$= \frac{N_0 - N}{N_0} \times 100 \% = \frac{142 - 44}{142} \times 100 \% = 69\%$$

- d. Persentase penurunan bakteri *Staphylococcus aureus* selama 25 menit

$$= \frac{N_0 - N}{N_0} \times 100 \% = \frac{142 - 34}{142} \times 100 \% = 76\%$$

- e. Persentase penurunan bakteri *Staphylococcus aureus* selama 30 menit

$$= \frac{N_0 - N}{N_0} \times 100 \% = \frac{142 - 24,33}{142} \times 100 \% = 83\%$$

2.4 Persentase penurunan pada paparan LED intensitas 140 lux

- a. Persentase penurunan bakteri *Staphylococcus aureus* selama 10 menit

$$= \frac{N_0 - N}{N_0} \times 100 \% = \frac{142 - 61}{142} \times 100 \% = 57\%$$

- b. Persentase penurunan bakteri *Staphylococcus aureus* selama 15 menit

$$= \frac{N_0 - N}{N_0} \times 100 \% = \frac{142 - 51}{142} \times 100 \% = 64\%$$

- c. Persentase penurunan bakteri *Staphylococcus aureus* selama 20 menit

$$= \frac{N_0 - N}{N_0} \times 100 \% = \frac{142 - 40,67}{142} \times 100 \% = 71\%$$

- d. Persentase penurunan bakteri *Staphylococcus aureus* selama 25 menit

$$= \frac{N_0 - N}{N_0} \times 100 \% = \frac{142 - 30}{142} \times 100 \% = 79\%$$

- e. Persentase penurunan bakteri *Staphylococcus aureus* selama 30 menit

$$= \frac{N_0 - N}{N_0} \times 100 \% = \frac{142 - 20,67}{142} \times 100 \% = 85\%$$

Lampiran 3. Hasil Analisis

Analisis hasil paparan UV-C dan LED dengan variasi waktu pada koloni bakteri *Staphylococcus aureus*

Test of Between-Subjects Effects

Dependent variable : data

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Model	192.917.333 ^a	20	9.645.867	70.579.521	.000
Paparan	7.943.800	3	2.647.933	1.937.512	.000
Waktu	1.391.433	4	3.479.358	2.524.872	.000
Paparan*Waktu	176.033	12	14.669	10.734	
Error	54.667	40	1.367		
Total	192.972.000	60			

data			
Duncan			
Paparan	N	subsets	
		1	2
4	15	406.000	
3	15	432.000	
2	15		644.667
1	15		652.000
Sig.		656	900

Data					
Duncan					
Waktu	N	Subsets			
		1	2	3	4
5	12	310000			
4	12		423333		
3	12			54.2500	
2	12			63.5833	
1	12				74.6667
Sig.		1.000	1.000	.066	1.000

Lampiran 4. Dokumentasi



Apel Manalagi pasca panen



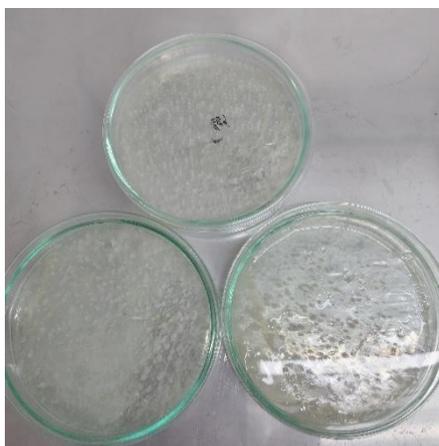
Sterilisasi Alat di Autoklaf



Pembuatan Media NA untuk biakan bakteri
Staphylococcus aureus



Proses inokulasi bakteri di LAF



Bakteri *Staphylococcus aureus* dalam
media NA



Apel yang sudah di inokulasi dengan
bakteri dan siap di papari



Kondisi Daging apel pasca di papari



Perendaman apel dengan larutan kurkumin



Proses vortex untuk melepas bakteri pada apel



Hasil suspense bakteri pada larutan aquades + NaCl



BUKTI KONSULTASI SKRIPSI

Nama : Afidatun Nisa'
NIM : 17640019
Fakultas/Program Studi : Sains dan Teknologi/ Fisika
Judul Skripsi : PENGARUH SINAR ULTRAVIOLET-C DAN INAKTIVASI FOTODINAMIK UNTUK MENGHAMBAT PERTUMBUHAN BAKTERI *Staphylococcus aureus* PADA BUAH PELE MANALAGI (*Malus Sjhvenris*)
Pembimbing 1 : Dr. H. Agus Mulyono, M.Kes
Pembimbing 2 : Dr. Erna Hastuti, M.Si

• **Konsultasi Fisika**

No	Tanggal	Hal	Tanda Tangan
1	8 April 2021	BAB I,II dan III	
2	18 April 2021	BAB I,II dan III	
3	20 April 2021	BAB I,II dan III	
4	24 April 2021	BAB I,II dan III ACC	
5	29 Desember	BAB IV	
6	24 Maret 2022	BAB IV	
7	6 April 2022	BAB IV ACC	
8	14 April 2022	BAB I-V ACC	
9	22 Juni 2022	Konsultasi Semua BAB, Abstrak dan ACC	

• **Konsultasi Integrasi**

No	Tanggal	Hal	Tanda Tangan
1	26 Januari 2022	Konsultasi Kajian Agama BAB I-III	
2	18 Februari 2022	Konsultasi Kajian Agama BAB I-III ACC	
3	21 Februari 2022	Konsultasi Kajian Agama BAB IV	
4	25 April 2022	Konsultasi Kajian Agama BAB IV ACC	
5	22 Juni 2022	Konsultasi Kajian Agama semua BAB ACC	

Malang, 24 Juni 2022
Mengetahui,
Ketua Program Studi

Dr. Imam Tazi, M.Si

