

**OPTIMASI LASER DIODA 405 nm UNTUK PENONAKTIFAN
BIOFILM BAKTERI *Staphylococcus epidermidis***

SKRIPSI

Oleh:

YUSRO AHMADIYAH

NIM. 11640016



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

**OPTIMASI LASER DIODA 405 nm UNTUK PENONAKTIFAN BIOFILM
BAKTERI *Staphylococcus epidermidis***

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:
YUSRO AHMADIYAH
NIM. 11640016

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

HALAMAN PERSETUJUAN

OPTIMASI LASER DIODA 405 nm UNTUK PENONAKTIFAN BIOFILM
BAKTERI *Staphylococcus epidermidis*

SKRIPSI

Oleh:

YUSRO AHMADIYAH

NIM. 11640016

Telah Diperiksa dan Disetujui untuk Diuji,
Pada tanggal: 9 Nopember 2015

Pembimbing I,

Pembimbing II,

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

Umaiatus Syarifah, M.A
NIP. 19820925 200901 2 005

Mengetahui,
Ketua Jurusan Fisika

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

HALAMAN PENGESAHAN

OPTIMASI LASER DIODA 405 nm UNTUK PENONAKTIFAN BIOFILM BAKTERI *Staphylococcus epidermidis*

SKRIPSI

Oleh:
YUSRO AHMADIYAH
NIM. 11640016

Telah Dipertahankan di Depan Dewan Penguji Skripsi dan
Dinyatakan Diterima sebagai Salah Satu Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Sains (S.Si)
Tanggal: 9 Nopember 2015

Penguji Utama:	<u>Dr. H. Agus Mulyono, S.Pd, M.Kes</u> NIP. 19750808 199903 1 003	
Ketua Penguji:	<u>dr. Avin Ainur Fitrianingsih</u> NIP. 19800203 200912 2 002	
Sekretaris Penguji:	<u>Drs. H. M. Tirono, M.Si</u> NIP.19641211 199111 1 001	
Anggota Penguji:	<u>Umaiatus Syarifah, M.A</u> NIP. 19820925 200901 2 005	

Mengesahkan,
Ketua Jurusan Fisika

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

HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Yusro Ahmadiyah

NIM : 11640016

Fakultas/Jurusan : Sains dan Teknologi/Fisika

Judul Penelitian : Optimasi Laser Dioda 405 nm Untuk Penonaktifan
Biofilm Bakteri *Staphylococcus epidermidis*

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

Apabila ternyata hasil penelitian ini terbukti terdapat unsur-unsur jiplakan maka saya bersedia untuk mempertanggung jawabkan, serta diproses sesuai peraturan yang berlaku.

Malang, 11 Nopember 2015

Yang Membuat Pernyataan

Yusro Ahmadiyah
NIM. 11640016

MOTTO

فَإِنَّ مَعَ الْعُسْرِ يُسْرًا ﴿٥﴾ إِنَّ مَعَ الْعُسْرِ يُسْرًا ﴿٦﴾

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

Ketika kita berpikir kita bisa maka ,
KITA PASTI BISA!!!!

“Tidak ada masalah yang tidak bisa diselesaikan selama ada komitmen untuk
menyelesaikannya.

Memulai dengan penuh keyakinan
Menjalankan dengan penuh keikhlasan
Menyelesaikan dengan penuh kebahagiaan

Yakin, Ikhlas, dan Istiqomah

HALAMAN PERSEMBAHAN

Alhamdulillahillobil'alamín.....

Sembah sujud serta syukur kehadiran Allah SWT atas Rahmat dan karunia yang Engkau berikan, akhirnya karya yang sederhana ini dapat terselesaikan, serta Sholawat dan salam selalu terlimpahkan keharibaan Nabi Muhammad SAW.

Karya tulis sederhana ini kupersembahkan untuk kedua orang tuaku, Akhmad dan Hosnifah serta adikku terimut Niswatin Akhmad, yang selama ini selalu mengiringi setiap langkah penulis dengan doa-doa yang indah dan semangat yang tiada henti dan tidak mungkin dapat penulis balas dengan selembar kertas yang bertuliskan kata cinta dan persembahan.

Tak lupa juga untuk teman-teman Fisika angkatan 2011 khususnya teman-teman fisika A dan Biophysics yang sudah menjadi keluarga keduaku. Semoga persahabatan kita bisa terjalin untuk selamanya.....

KATA PENGANTAR



Assalamu'alaikum Wr. Wb.

Syukur Alhamdulillah penulis panjatkan kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan Rahmat dan Hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan judul “**Optimasi Laser Dioda 405 nm Untuk Penonaktifan Biofilm Bakteri *Staphylococcus epidermidis***” sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains (S.Si) di Jurusan Fisika Fakultas Sains Dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.

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

1. Prof. Dr. H. Mudjia Raharjo, M.Si selaku rektor Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang, yang telah banyak memberikan pengetahuan dan pengalaman yang berharga.
2. Dr. drh. Hj. Bayyinatul Muchtaromah, M.Si selaku dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
3. Erna Hastuti, M.Si selaku ketua Jurusan Fisika Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang
4. Drs. M. Tirono, M.Si, selaku dosen pembimbing skripsi, yang telah banyak memberi kritik dan saran yang sangat berguna.

5. Umaiatus Syarifah, M.A selaku Dosen Pembimbing agama, yang bersedia meluangkan waktu untuk memberikan bimbingan dan pengarahan bidang integrasi Sains dan Al Quran.
6. Orangtua tercinta serta segenap keluarga yang selalu mendo'akan, dan memberikan motivasi kepada penulis dalam menuntut ilmu.
7. Segenap sivitas akademika Jurusan Fisika, terutama seluruh dosen, terima kasih atas segenap ilmu dan bimbingannya.
8. Teman-teman seperjuanganku, teman-teman Fisika angkatan 2011 dan teman-teman Biophysics. Terima kasih atas doa, kebersamaan, kebahagiaan serta motivasi yang tiada henti.

Penulis menyadari dalam penulisan skripsi ini masih terdapat banyak kekurangan, oleh karena itu segala kritik dan saran yang bersifat konstruktif sangat diharapkan demi kemajuan bersama. Penulis berharap semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat kepada para pembaca khususnya bagi penulis secara pribadi. *Amin Allahu Rabbul 'Alamiin.*

Wassalamu'alaikum Wr. Wb.

Malang, 11 Nopember 2015

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGAJUAN	ii
HALAMAN PERSETUJUAN	iii
HALAMAN PENGESAHAN	iv
HALAMAN PERNYATAAN	v
MOTTO	vi
HALAMAN PERSEMBAHAN	vii
KATA PENGANTAR	viii
DAFTAR ISI	x
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
ABSTRAK	xv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	6
1.3 Tujuan	7
1.4 Manfaat	7
1.5 Batasan Masalah	8
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	9
2.1 Gelombang Elektromagnetik	9
2.1.1 Definisi Gelombang Elektromagnetik	9
2.1.2 Spektrum Gelombang Elektromagnetik	10
2.1.3 Ciri-ciri Gelombang Elektromagnetik	11
2.1.4 Energi Yang Dibawa Gelombang Elektromagnetik	12
2.1.5 Cahaya Tampak	13
2.1.6 Laser Dioda	14
2.1.7 Rambat Cahaya Antar Muka	16
2.1.8 Interaksi Cahaya Dengan Dielektrik	17
2.1.9 Interaksi Cahaya Dengan Sel Bakteri	18
2.2 Bakteri	20
2.2.1 Definisi Bakteri	20
2.2.2 Morfologi Bakteri	22
2.2.3 Struktur Bakteri	22
2.3 <i>Staphylococcus epidermidis</i>	25
2.3.1 Klasifikasi Bakteri <i>Staphylococcus epidermidis</i>	25
2.3.2 Karakteristik dan Morfologi Dari Bakteri <i>Staphylococcus epidermidis</i>	26
2.3.3 Penyakit Penyebab Bakteri <i>Staphylococcus epidermidis</i>	27
2.3.4 Pertumbuhan Bakteri <i>Staphylococcus epidermidis</i>	28
2.4 Biofilm	29
2.4.1 Pengertian Biofilm	29
2.4.2 Proses Pembentukan Biofilm	31
2.4.3 Interaksi Cahaya Dan Suhu Terhadap Biofilm	33
2.4.4 Efek Biologis	33

BAB III METODE PENELITIAN	35
3.1 Jenis Penelitian	35
3.2 Waktu Dan Tempat Penelitian.....	37
3.3 Alat Dan Bahan	37
3.3.1 Alat-alat Yang Digunakan.....	37
3.3.2 Bahan-bahan Yang Digunakan.....	39
3.4 Desain Penelitian	39
3.5 Prosedur Penelitian	39
3.5.1 Sterilisasi	39
3.5.2 Penyiapan Media NA (<i>Nutrient Agar</i>)	40
3.5.3 Penyiapan Media NB (<i>Nutrient Broth</i>).....	40
3.5.4 Penyiapan Media PCA (<i>Plate Count Agar</i>).....	41
3.5.5 Penyiapan Bakteri <i>Staphylococcus epidermidis</i>	41
3.5.6 Pembuatan Biofilm Bakteri <i>Staphylococcus epidermidis</i>	41
3.5.7 Perlakuan Suhu Dan Pemaparan Sinar Laser	42
3.5.8 Penghitungan Koloni Bakteri	42
3.6 Teknik Pengumpulan Data	44
3.7 Teknik Analisis Data	44
BAB IV DATA DAN PEMBAHASAN.....	45
4.1 Data Hasil Penelitian	45
4.2 Analisis Data.....	47
4.2.1 Analisis Deskriptif	47
4.2.2 Analisis Menggunakan <i>Anova</i>	53
4.3 Pembahasan	55
4.4 Sterilisasi Dalam Pandangan al-Quran Dan Hadits.....	60
BAB V PENUTUP	64
5.1 Simpulan.....	64
5.2 Saran	65
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Perambatan Gelombang Elektromagnetik.....	10
Gambar 2.2	Mekanisme Cahaya Terhadap Sel Bakteri	19
Gambar 2.3	Diagram Level Energi Reaksi Fotokimia	20
Gambar 2.4	Gram Negatif Dan Gram Positif Bakteri	23
Gambar 2.5	Membran Plasma	24
Gambar 2.6	<i>Staphylococcus epidermidis</i>	26
Gambar 2.7	Fase Pertumbuhan Mikroorganisme	28
Gambar 2.8	Proses Pembentukan Biofilm	31
Gambar 3.1	Diagram Alir Penelitian.....	36
Gambar 3.2	Rangkaian Perlakuan Bakteri <i>Staphylococcus epidermidis</i>	39
Gambar 4.1	Diagram Persentase Penurunan Jumlah Bakteri <i>Staphylococcus epidermidis</i> Dengan Variasi Intensitas Cahaya	48
Gambar 4.2	Diagram Persentase Penurunan Jumlah Bakteri <i>Staphylococcus epidermidis</i> Dengan Variasi Suhu	49
Gambar 4.3	Persentase Penurunan Jumlah Bakteri <i>Staphylococcus epidermidis</i>	50
Gambar 4.4	Citra SEM Biofilm Bakteri <i>Staphylococcus epidermidis</i> Yang Terbentuk Selama 6 hari Dengan Perbesaran 5000 Kali.....	51
Gambar 4.5	Citra SEM Setelah Pemaparan Dengan Intensitas 60 mW/cm ² Pada Suhu Lingkungan 60 °C Dengan Perbesaran 5000 Kali..	52

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Spektrum Dari Gelombang Elektromagnetik.....	11
Tabel 2.2 Spektrum Cahaya Tampak Dan Warna-warna Komplementer	14
Tabel 3.1 Pengolahan Data Jumlah Bakteri	44
Tabel 4.1 Data Hasil Rata-rata Jumlah Koloni Bakteri <i>Staphylococcus epidermidis</i> Yang Terpaparan Sinar Laser Selama 30 Menit.....	46
Tabel 4.2 Data Persentase Penurunan Bakteri <i>Staphylococcus epidermidis</i> Yang Diberi Paparan Sinar Laser dan Suhu Selama 30 Menit.....	47
Tabel 4.3 Data Faktor Antar Subjek	53
Tabel 4.4 Uji <i>Anova</i>	53
Tabel 4.5 Uji <i>Duncan</i> Pada Antar Masing-masing intensitas.....	54
Tabel 4.6 Uji <i>Duncan</i> Pada Antar Masing-masing suhu.....	55



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Data Hasil Koloni Bakteri *Staphylococcus epidermidis*

Lampiran 2 Foto Alat Dan Bahan Penelitian



مستخلص البحث

أحمدية، يسرا. 2015. شعاع ديودا nm 405 ليزر التعطيل الأغشية الحيوية من البكتيريا ستافيلوكوكوس إيفيدرميدس (*Staphylococcus epidermidis* Bacteria). البحث العلمي. قسم الفيزياء كلية العلوم والتكنولوجيا جامعة مولانا مالك إبراهيم الإسلامية الحكومية مالانج. المشرف الأول : محمد تيرونو الماجستير، المشرفة الثاني : أمية الشريفة الماجستير

الكلمات الرئيسية : البكتيريا ستافيلوكوكوس إيفيدرميدس (*Staphylococcus epidermidis*)، شعاع، الأغشية الحيوية، عدوى مستشفى (nosocomial infection)

عدوى مستشفى (nosocomial infection) هو من إحدى الأسباب على ارتفاع عدد المرضى و الموت في مستشفى. . احد من اهم الكائنات التي تسبب عدوى المستشفيات هي البكتيريا ستافيلوكوكوس إيفيدرميدس (*Staphylococcus epidermidis*). سيكون عدوي ستافيلوكوكوس إيفيدرميدس بسبب تشكيل هذه الأغشية الحيوية في أدوات طبية في المستشفى. وأما الشعاع فهو آلة ليعقم أدوات طبية من بكتيريا ستافيلوكوكوس إيفيدرميدس. يهدف هذا البحث ليعرف تأثير تعريض و درجة حرارة البيئة ليزر التعطيل الأغشية الحيوية من البكتيريا ستافيلوكوكوس إيفيدرميدس (*Staphylococcus epidermidis*). و كان المنهج بهذا البحث هو واربع لوحات قياس $1 \times 1 \text{ cm}^2$ ثم يدخل إلى 50 ml الوسيلة NB التي فيها بكتيريا ستافيلوكوكوس إيفيدرميدس. ثم حضنت لمدة 6 ايام مع 37°C درجة الحرارة لتشكيل الأغشية الحيوية. عرض الأغشية الحيوية بتنوع 0 mW/cm^2 ، 15 mW/cm^2 ، 35 mW/cm^2 ، 60 mW/cm^2 و درجة الحرارة 30°C ، 40°C ، 50°C ، 60°C لمدة ثلاثين دقائق. أظهرت النتيجة أن في درجة الحرارة 30°C بتنوع 15 mW/cm^2 عدد البكتيريا عملي فيها $15,2 \times 10^8 \text{ CFU/ml}$ بنسبة انقاص عدد البكتيريا 34,2%. و في حين درجة الحرارة 60°C بنسبة انقاص عدد البكتيريا 88,3%. وأما في تنوع 60 mW/cm^2 بدرجة الحرارة 30°C عدد البكتيريا عملي فيها $11,5 \times 10^8 \text{ CFU/ml}$ بنسبة انقاص عدد البكتيريا 50,2% و بدرجة الحرارة أكبر منها يعني 60°C بنسبة انقاص عدد البكتيريا 88,3%. وهذا يدل على أن شعاع ليزر يمكنه يمنع نمو البكتيريا ستافيلوكوكوس إيفيدرميدس (*Staphylococcus epidermidis*) بارتفاع تنوع و درجة الحرارة.

ABSTRAK

Ahmadiyah, Yusro. 2015. **Optimasi Sinar Laser Dioda 405 nm Untuk Penonaktifan Biofilm Bakteri *Staphylococcus epidermidis***. Skripsi. Jurusan Fisika Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang. Pembimbing: (I) Drs. M. Tirono, M.Si, (II) Umayatus Syarifah, M.A

Kata Kunci: Bakteri *Staphylococcus epidermidis*, Sinar Laser, Biofilm, Infeksi Nosokomial

Infeksi nosokomial merupakan salah satu penyebab meningkatnya angka kesakitan (morbidity) dan angka kematian (mortality) di rumah sakit. Salah satu penyebab dari infeksi nosokomial adalah bakteri *Staphylococcus epidermidis*. Infeksi *S. epidermidis* dapat terjadi karena bakteri ini membentuk biofilm pada alat-alat medis di rumah sakit. Laser merupakan salah satu alternatif untuk mensterilkan alat-alat medis dari bakteri *Staphylococcus epidermidis*. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh intensitas pemaparan dan suhu lingkungan terhadap penonaktifan biofilm bakteri *Staphylococcus epidermidis*. Metode yang dilakukan pada penelitian ini adalah lempeng kateter steril berukuran $1 \times 1 \text{ cm}^2$ dimasukkan ke dalam 50 ml media NB yang sudah ditumbuhkan bakteri *Staphylococcus epidermidis* kemudian diinkubasi selama 6 hari pada suhu 37°C sehingga membentuk biofilm. Biofilm yang terbentuk diberi paparan sinar laser dengan intensitas cahaya 0 mW/cm^2 , 15 mW/cm^2 , 35 mW/cm^2 , 60 mW/cm^2 dan suhu lingkungan 30°C , 40°C , 50°C , 60°C selama 30 menit. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa pada suhu 30°C dengan intensitas cahaya 15 mW/cm^2 jumlah bakteri yang aktif sebesar $15,2 \times 10^8 \text{ CFU/ml}$ dengan persentase penurunan jumlah bakteri sebesar 34,2% sedangkan pada intensitas cahaya 60 mW/cm^2 persentase penurunan jumlah bakteri menjadi 88,3%. Pada intensitas cahaya 60 mW/cm^2 pada suhu lingkungan 30°C jumlah bakteri yang aktif sebesar $11,5 \times 10^8 \text{ CFU/ml}$ dengan persentase penurunan jumlah bakteri sebesar 50,2 % dan pada suhu lingkungan yang lebih besar yaitu 60°C persentase penurunan jumlah bakteri sebesar 88,3%. Hal ini menunjukkan bahwa sinar laser dapat menghambat pertumbuhan biofilm dari bakteri *Staphylococcus epidermidis* dengan meningkatnya intensitas cahaya dan suhu lingkungan.

ABSTRACT

Ahmadiyah, Yusro. 2015. **Optimization Of Laser Bearn Diodes 405 nm for Biofilm Deactivation of. *Staphylococcus epidermidis* Bacteria.** Thesis. Physics Department. Faculty of Science and Technology the State Islamic University (UIN) Maulana Malik Ibrahim Malang. Supervisors: (I) Drs. M. Tirono, M.Si, (II) Umaiatus Syarifah, M.A

Key Words: The Bacteria of *Staphylococcus epidermidis*, Laser Beam, Biofilms, Nosocomial infection

The nosocomial infection is one cause in increasing the number of illness (morbidity) and death (mortality) in the hospital. One of cause from the nosocomial infection is the bacterium of *Staphylococcus epidermidis*. The infection of *S. epidermidis* can occur because the bacteria forms a biofilms on a medical tools in the hospital. The use of laser in one of alternatives to sterilize the medical tools from the bacteria of *Staphylococcus epidermidis*. This research is aimed to know the effect of an exposure's intensity and the environment temperature to the deactivation of biofilms made by the bacteria of *Staphylococcus epidermidis*. The method used in this research is the slab of sterile catheter plates with the size $1 \times 1 \text{ cm}^2$ which is drowned into 50 ml of media NB which has been added a bacteria of *Staphylococcus epidermidis* and has been incubated for 6 days with temperature of 37°C so that can form a biofilms. The forms of biofilm has been given a laser beam with luminous intensity 0 mW/cm^2 , 15 mW/cm^2 , 35 mW/cm^2 , 60 mW/cm^2 with the environment temperature 30°C , 40°C , 50°C , 60°C for along 30 minutes. The result of this research shows that in the temperature 30°C with luminous intensity 15 mW/cm^2 the number of the active bacteria is $15,2 \times 10^8 \text{ CFU/ml}$ with decreasing percentage of the bacteria is 34,2% while in the luminous intensity 60 mW/cm^2 the decreasing percentage of the bacteria into 88,3% . In the luminous intensity which is 60 mW/cm^2 in the environment temperature 30°C the number of the active bacteria is $11,5 \times 10^8 \text{ CFU/ml}$ with the decreasing percentage of the bacteria is 50,2 % and in the higher environment temperature which is 60°C the decreasing percentage in the number of the bacteria is 88,3%. This shows that the laser beam can resist the growing number of biofilm from the bacteria of *Staphylococcus epidermis* with the increasing of luminous intensity and environment temperature.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Penyakit infeksi adalah penyakit yang disebabkan oleh mikroba patogen dan bersifat sangat dinamis. Salah satu penyakit infeksi yang merupakan penyebab meningkatnya angka kesakitan (*morbidity*) dan angka kematian (*mortality*) di rumah sakit adalah infeksi nosokomial (Darmadi, 2008). Infeksi nosokomial menurut WHO adalah adanya infeksi yang tampak pada pasien ketika berada di dalam rumah sakit atau fasilitas kesehatan lainnya, dimana infeksi tersebut tidak tampak pada saat pasien diterima di rumah sakit (Trikusumagani, 2009).

Kebanyakan infeksi nosokomial yang terjadi di rumah sakit disebabkan oleh dua faktor, yaitu faktor internal dan eksternal. Faktor internal meliputi flora normal dari pasien itu sendiri dan faktor eksternal meliputi lingkungan rumah sakit, makanan, udara, pemakaian infus, pemakaian kateter dalam waktu lama dan tidak diganti-ganti, serta benda dan bahan-bahan yang tidak steril (Kowalski, 2007). Selain itu, biaya untuk mengobati infeksi ini tentunya tidak murah, sehingga harus ada pencegahan dan pensterilisasian alat-alat medis. Sebuah survei mengenai prevalensi infeksi nosokomial yang dikelola WHO, pada 55 rumah sakit di 14 negara yang dibagi menjadi 4 wilayah, yakni Eropa, Mediterranean Timur, Asia Tenggara, dan Pasifik Barat, menunjukkan bahwa sekitar 8,7 % rumah sakit pasien mengalami infeksi nosokomial. Pada survei lain menyatakan sekitar 1,4 juta pasien di seluruh dunia mengalami infeksi nosokomial (Utama, 2008).

Infeksi nosokomial meliputi infeksi saluran kemih, infeksi luka operasi atau infeksi daerah operasi, Pneumonia nosokomial (*Ventilator-associated pneumonia* (VAP)), Bakteriemia nosokomial, Infeksi pada kulit dan jaringan lunak, Gastroenteritis, Sinusitis, dan infeksi saluran cerna lainnya (Karsinah, 1993). Salah satu penyebab dari infeksi nosokomial adalah bakteri *Staphylococcus epidermidis* (Wiwing, 2014).

Infeksi *S. epidermidis* dapat terjadi karena bakteri ini membentuk biofilm pada alat-alat medis di rumah sakit dan menulari orang-orang di lingkungan rumah sakit tersebut (infeksi nosokomial). Secara klinis, bakteri ini menyerang orang-orang yang rentan atau imunitas rendah, seperti penderita AIDS, pasien kritis, pengguna obat terlarang (narkotika), bayi yang baru lahir, dan pasien rumah sakit yang dirawat dalam waktu lama. Bakteri *Staphylococcus epidermidis* adalah bakteri yang bersifat oportunistik yaitu menyerang individu yang memiliki kekebalan tubuh yang lemah (Wiwing, 2014).

Untuk mengurangi infeksi, pihak rumah sakit membangun suatu fasilitas penyaring air dan menjaga kebersihan pemrosesan serta filturnya untuk mencegah terjadinya pertumbuhan bakteri serta mengatur ventilasi udara di dalam rumah sakit. Sedangkan untuk mengurangi infeksi terhadap penggunaan alat medis dilakukan pensterilan dari bakteri. Sterilisasi ini menggunakan autoklaf. Autoklaf merupakan suatu metode sterilisasi dengan memanfaatkan uap panas dan tekanan tinggi pada suhu di atas 100°C. Namun, masih dijumpai beberapa kelemahan seperti membuat korosi alat yang terbuat dari logam non stainless steel, dapat merusak alat kesehatan yang berbahan plastik dan karet,

serta dapat membuat alat kesehatan yang tajam menjadi tumpul dan tidak dapat membunuh bakteri berukuran lebih kecil yang melekat di alat kedokteran gigi. Metode ini kurang efektif, karena tidak semua alat medis tahan terhadap suhu tinggi. Pada penelitian yang dilakukan oleh Karla (2014) yaitu penggunaan sinar gamma pada proses sterilisasi alat kedokteran gigi mampu mengurangi jumlah mikrobiologi yang berukuran kecil pada alat kedokteran gigi. Namun, penggunaan sinar gamma yang terlalu banyak sangat berbahaya terhadap tubuh manusia dengan pemakaian dosis yang tinggi.

Sedangkan bagi pasien biasanya pasien diberi antibiotik untuk mengendalikan pertumbuhan mikroba. Resistensi bakteri merupakan masalah besar, karena dapat meningkatkan morbiditas dan mortalitas serta biaya perawatan kesehatan. Antibiotik merupakan substansi yang dihasilkan oleh suatu organisme dan dapat menghambat pertumbuhan organisme lain. Antibiotik juga dimanfaatkan untuk bertahan hidup dan menghadapi organisme lain yang mengancam keberadaannya. Seperti penelitian yang dilakukan oleh Siti Fauziyah, dkk (2011) tentang “Hubungan Penggunaan Antibiotika Pada Terapi Empiris Dengan Kepekaan Bakteri Di ICU RSUP Fatmawati Jakarta” . Penelitian ini menunjukkan bahwa bakteri *S. epidermidis*, *E. aerogenes* dan *Klebsiella sp* resisten terhadap seftazidime di atas 60 %. Hal ini menunjukkan bahwa bakteri tersebut resisten terhadap antibiotik. Namun, ada beberapa antibiotik yang dapat menghambat sintesa protein dan sintesa asam nukleat seperti penisilin, sefalosporin, dan basitrasin (Pathania & Brown, 2008).

Islam menganjurkan umatnya untuk selalu menjaga kebersihan sebagaimana disebutkan dalam hadits Rasulullah SAW:

إِنَّ اللَّهَ تَعَالَى طَيِّبٌ يُحِبُّ الطَّيِّبَ نَظِيفٌ يُحِبُّ النَّظَافَةَ كَرِيمٌ يُحِبُّ الْكَرَمَ جَوَادٌ يُحِبُّ
الْجُودَ فَتَنَظَّفُوا أَفْنَيْتَكُمْ (رواه التيرمدى)

“Sesungguhnya Allah SWT itu suci yang menyukai hal-hal yang suci, Dia Maha Bersih yang menyukai kebersihan, Dia Mahamulia yang menyukai kemuliaan, Dia Maha Indah yang menyukai keindahan, karena itu bersihkanlah tempat-tempatmu” (HR. Tirmizi: 2723).

Hadits di atas sudah jelas bahwa Allah SWT menganjurkan umat-Nya untuk menjaga kebersihan seperti dalam kalimat فَتَنَظَّفُوا أَفْنَيْتَكُمْ yang secara bahasa mengandung makna “bersihkanlah tempat-tempatmu”. Kata فَتَنَظَّفُوا berasal dari kata نَظَفَ yang artinya bersih. Dari makna tersebut dapat dijelaskan bahwa kebersihan itu sangat penting dan makna “tempat-tempat” disini tidak hanya bermakna tempat namun bisa diartikan sebagai alat-alat kesehatan, dimana alat-alat kesehatan juga harus dibersihkan dari berbagai mikroorganisme yang membahayakan kesehatan manusia.

Proses sterilisasi dapat menggunakan sinar UV, radiasi sinar x dan sinar gamma. Selain ketiga sinar tersebut, ternyata proses sterilisasi juga bisa menggunakan sinar laser. Laser merupakan sinar panas yang dihasilkan dari loncatan atom akibat stimulasi energi dari radiasi listrik. Cahaya panas ini bisa digunakan untuk memotong kulit dan jaringan, menghancurkan pigmen warna kulit, dan pengobatan lainnya dalam dunia kedokteran dengan risiko pendarahan minimal dan waktu penyembuhan cepat. Selain cahaya, faktor suhu juga harus diperhatikan, karena setiap bakteri memiliki suhu maksimum. bakteri akan

mengalami kerusakan akibat pengaruh suhu. Kondisi suhu tinggi dapat merusak mikroba, karena enzim tidak aktif pada suhu tinggi. Pada temperatur 800 °C sampai 1000 °C semua organisme dalam bentuk vegetatif akan mati (Subandi, 2010).

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

Penelitian yang dilakukan oleh Ayad G.Anwer dan Anssam S.Husein (2007) yaitu kombinasi efek laser, antibiotik dan suhu pada bakteri *Pseudomonas aeruginosa*. Metode yang digunakan dalam penelitian ini melibatkan isolasi, pemurnian, dan pemberian antibiotik dengan menvariasikan suhu dan waktu. Dari penelitian ini didapat bahwa penyinaran laser diode 3 W pada suhu 45°C selama 10 menit dapat membunuh bakteri dengan intensitas penyerapan maksimal adalah 5.9 W/cm². Keunggulan penelitian ini adalah penggunaan sinar laser dengan suhu 45°C dengan intensitas 5.9 W/cm² dan waktu 10 menit sudah mampu mengurangi bakteri *Pseudomonas aeruginosa* 100%.

Penelitian yang dilakukan oleh T. Ariyadi dan Sinto (2009) tentang “Pengaruh Sinar Ultra Violet Terhadap Pertumbuhan Bakteri *Bacillus sp.* Sebagai Bakteri Kontaminan”. Penelitian ini dilakukan dengan mengambil satu ose biakan dari bakteri *Bacillus sp.* Biakan bakteri tersebut di buat suspensi dengan kepadatan sebesar 2 Mc Farland. Selanjutnya bakteri dipapari sinar U V

38 watt dengan jarak 45 cm selama 1 menit, 5 menit, 10 menit, 15 menit. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa penyinaran dengan menggunakan sinar ultraviolet selama 10 menit dan 15 menit dapat membunuh bakteri 100% sehingga tidak ada koloni yang tumbuh.

Penelitian yang dilakukan oleh Fawaid (2014) tentang “Potensi Sinar Laser Untuk Penonaktifan Biofilm Dari Bakteri *Pseudomonas aeruginosa*”. Penelitian ini menggunakan bakteri yang sudah membentuk biofilm, kemudian bakteri tersebut dipapari dengan sinar laser menggunakan intensitas 50 mW/cm², 100 mW/cm², 150 mW/cm², 200 mW/cm², 250 mW/cm² dengan waktu pemaparan 10 menit, 20 menit, 30 menit, 40 menit, 50 menit. Dari penelitian yang dilakukan diperoleh hasil bahwa penyinaran sinar laser pada waktu 50 menit dengan absorpsi panjang gelombang 403 nm dan intensitas 250 mW/cm² jumlah biofilm pada bakteri *Pseudomonas aeruginosa* menjadi 99%.

Dari hasil penelitian yang dilakukan oleh Ayad G.Anwer dan T. Ariyadi menunjukkan bahwa penggunaan cahaya tampak mampu membunuh bakteri, akan tetapi daya yang digunakan sangat besar. Sedangkan penelitian yang dilakukan oleh Fawaid (2014) menunjukkan bahwa dengan intensitas kecil sudah mampu mengurangi jumlah bakteri, namun masih ada bakteri yang hidup. Oleh karena itu, diperlukan penelitian lebih lanjut mengenai penghambatan bakteri menggunakan cahaya tampak dengan intensitas kecil dan dengan spektrum cahaya hanya berkisar 405 nm serta penambahan variasi suhu dan intensitas pemaparan. Diharapkan dengan pemakaian parameter tersebut mampu mengurangi atau membunuh kandungan bakteri *Staphylococcus epidermidis* pada alat-alat medis di

rumah sakit yang tidak tahan terhadap suhu tinggi dan juga mengurangi penularannya terhadap orang-orang di lingkungan rumah sakit (yang kekebalan tubuhnya lemah) dimana bakteri dapat membentuk biofilm yang resisten terhadap antibiotik. Berdasarkan latar belakang diatas akan dilakukan penelitian tentang **“Optimasi Sinar Laser Dioda 405 nm untuk Penonaktifan Biofilm Bakteri *Staphylococcus epidermidis*”**.

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana pengaruh intensitas paparan sinar laser terhadap penonaktifan biofilm bakteri *Staphylococcus epidermidis* ?
2. Bagaimana pengaruh suhu terhadap penonaktifan biofilm bakteri *Staphylococcus epidermidis*?

1.3 Tujuan penelitian

1.3.1 Tujuan Umum

Adapun tujuan umum dari penelitian ini adalah mendayagunakan paparan sinar laser sebagai metode alternatif untuk menonaktifkan biofilm pada bakteri *Staphylococcus epidermidis*

1.3.2 Tujuan Khusus

Adapun tujuan khusus dari penelitian ini adalah:

1. Untuk mengetahui pengaruh intensitas paparan sinar laser terhadap penonaktifan bakteri *Staphylococcus epidermidis*
2. Untuk mengetahui pengaruh suhu terhadap penonaktifan bakteri *Staphylococcus epidermidis*

1.4 Manfaat Penelitian

1.4.1 Manfaat Teoritis

Manfaat teoritis dari penelitian ini adalah untuk menambah khazanah ilmu tentang optimasi sinar laser untuk menonaktifkan biofilm bakteri *Staphylococcus epidermidis*.

1.4.2 Manfaat Praktis

1. Mengurangi penggunaan antibiotik.
2. Memberikan solusi alternatif dalam sterilisasi alat-alat medik sehingga alat-alat medik aman dari bakteri.

1.5 Batasan Masalah

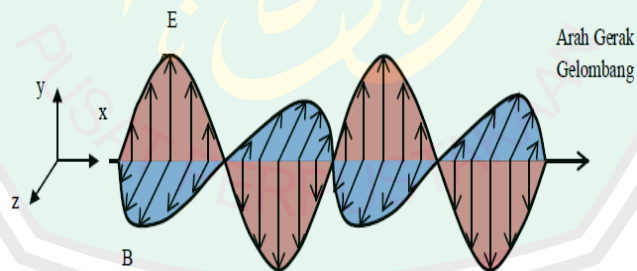
Pembahasan hanya untuk mengetahui pengaruh intensitas paparan sinar laser 405 nm serta suhu terhadap penurunan bakteri *Staphylococcus epidermidis* yang telah membentuk biofilm.

BAB II KAJIAN PUSTAKA

2.1 Gelombang Elektromagnetik

2.1.1 Definisi Gelombang Elektromagnetik

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



Gambar 2.1 Perambatan gelombang elektromagnetik (Harefa, 2011).

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

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

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

Firman Allah SWT dalam al-Quran surat Yunus (10): 5:

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

“Dia-lah yang menjadikan matahari bersinar dan bulan bercahaya dan ditetapkan-Nya manzilah-manzilah (tempat-tempat) bagi perjalanan bulan itu, supaya kamu mengetahui bilangan tahun dan perhitungan (waktu). Allah tidak menciptakan yang demikian itu melainkan dengan hak[669]. Dia menjelaskan tanda-tanda (kebesaran-Nya) kepada orang-orang yang mengetahui (Q.S Yunus (10): 5)

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

2.1.2 Spektrum Gelombang Elektromagnetik

Spektrum cahaya atau spektrum tampak adalah bagian dari spektrum elektromagnetik yang tampak oleh mata manusia. Radiasi elektromagnetik dalam rentang panjang gelombang ini disebut cahaya. Sedangkan cahaya merupakan bentuk energi yang dikenal sebagai energi elektromagnetik yang disebut radiasi. Spektrum elektromagnetik ini dipancarkan oleh matahari secara keseluruhan

melewati atmosfer bumi sedangkan radiasi elektromagnetik di luar jangkauan panjang gelombang optik atau jendela tranmisi lainnya, hampir seluruhnya diserap atmosfer.

Tabel 2.1 Spektrum dari gelombang elektromagnetik (PECSOK et al. 1976; SKOOG & WEST 1971).

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

2.1.3 Ciri-ciri Gelombang Elektromagnetik

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

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

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

2.1.4 Energi yang dibawa oleh Gelombang Elektromagnetik

Gelombang merambat melalui medium, energi dipindahkan sebagai energi getaran dari partikel ke partikel pada medium tersebut, sehingga setiap partikel mempunyai energi:

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

Dimana:

A = Amplitudo gerak (baik secara transversal atau longitudinal)

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

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

Dimana:

P = Daya (W/m)

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

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

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

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

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

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

2.1.5 Cahaya Tampak

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

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

Tabel 2.2 Spektrum cahaya tampak dan warna-warna komplementer

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

2.1.6 Laser Dioda

Laser dioda adalah sejenis laser dimana media aktifnya sebuah semikonduktor persimpangan p-n yang mirip dengan yang terdapat pada dioda pemancar cahaya. Dioda laser kadang juga disingkat LD atau ILD. Prinsip kerja dioda ini sama seperti dioda lainnya yaitu melalui sirkuit dari rangkaian elektronika yang terdiri dari jenis p dan n (Carrol, 2006).

Pada arus panjar nol, suatu daerah pengosongan (depletion zone) memisahkan kedua bagian. Rekombinasi terjadi secara kontinu dalam semikonduktor jika diberikan tegangan luar dari kristal pembentuk semikonduktor. Di sepanjang daerah pengosongan terdapat suatu potensial barrier (barrier potential), karena lubang-lubang dan elektron-elektron yang dikombinasikan kembali (*recombination*) mempunyai muatan terjebak pada tempat-tempat elektron campuran (*impurities*) didalam daerah pengosongan (Carrol, 2006):

$$E = NKT = hf = \frac{hc}{\lambda} \quad (2.8)$$

Secara analisa empiris menunjukkan bahwa panjang gelombang pada sebuah laser semikonduktor berbanding terbalik dengan nilai temperaturnya. Bila pada sambungan dikenakan arus panjar maju (forward panjar) yang cukup untuk mengatasi potensial batas sambungan, daerah pengosongan akan menghilang, dan lubang bebas bergerak melewati sambungan ke dalam daerah N, sementara elektron-elektron bebas pula bergerak kedalam daerah P. Apabila kuat arus yang diinjeksikan atau arus panjar lemah, maka invers population tidak terjadi. Apabila arus panjar maju yang diberikan ditingkatkan maka invers population akan terjadi sehingga emisi terstimulasi pun dapat mendominasi pada arus panjar tertentu, yang disebut arus ambang (I_{th}). Parameter penting yang dipengaruhi oleh arus injeksi adalah daya optis sebagai keluaran dari laser dioda. Daya optis keluaran ini dapat didefinisikan sebagai (Sands, 2005):

$$P_{out} = \eta_{ext} (I - I_{th}) \quad (2.9)$$

dimana $\eta_{ext} = \frac{dp}{dt}$ merupakan penurunan efisiensi kuantum laser dioda.

Arus ambang ini juga dipengaruhi oleh temperatur operasional. Ketika temperatur operasionalnya divariasikan ternyata dapat mempengaruhi arus ambang terjadinya lasing. Hubungan keduanya didefinisikan sebagai (Sands, 2005):

$$I_{th}(\lambda, T) = I_0(\lambda) \exp(T/T_0) \quad (2.10)$$

Berdasarkan eksperimen yang pernah dilakukan sebelumnya, bahwa panjang gelombang dari laser dapat diatala menurut temperatur operasional yang diberikan. Pada area temperatur $293 \text{ K} < T' < 355 \text{ K}$, dapat dihasilkan perubahan

panjang gelombang sebesar $1.23 \mu\text{m} \leq \lambda' \leq 1.35 \mu\text{m}$. Persamaanya adalah (Sands, 2005):

$$\lambda = (\lambda - \zeta T) \quad (2.11)$$

Dari persamaan 2.10 dan 2.11 dapat diketahui hubungan antara panjang gelombang dan temperatur operasional yang diberikan. λ pada eksperimen sebelumnya tersebut bernilai $1.25 \mu\text{m}$, yang artinya jika panjang gelombang laser yang digunakan $1.55 \mu\text{m}$, maka nilai λ juga bernilai 1.55 nm . Hubungan inilah yang mendasari ketergantungan frekuensi (ν) terhadap temperatur berdasarkan persamaan $\nu = c / \lambda$ sederhana dengan c adalah kecepatan cahaya bernilai konstan $3 \times 10^8 \text{ m/s}$ (Sands, 2005).

2.1.7 Rambat Cahaya Pada Antarmuka

1. Pemantulan (Refleksi)

Pemantulan adalah pengambilan seluruh atau sebagian dari suatu berkas partikel bertemu dengan bidang batas antara dua medium. Hukum Pemantulan menyatakan (Alan Isaacs, 1997):

1. Bahwa sinar datang, sinar pantul, dan garis normal terhadap bidang batas pemantulan pada titik jatuh, semuanya berada dalam satu bidang.
2. Bahwa sudut datang sama dengan sudut pantul.

Besarnya energi refleksi tergantung pada perbedaan nilai Z dan sudut yang timbul pada pengaruh normal, koefisien refleksi R diberikan oleh (Heggie, dkk, 1997):

$$R = I_r / I_j = [(Z_1 - Z_2) / (Z_1 + Z_2)]^2 \quad (2.12)$$

2. Pembiasan (Refraksi)

Pembiasaan adalah perubahan arah yang dialami oleh muka gelombang pada saat melintas miring dari satu medium ke medium lain (Alan Isaacs, 1997).

Hukum Snellius untuk pembiasan (Alan Isaacs, 1997):

$$\frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{n_2}{n_1} \quad (2.13)$$

dimana,

θ_1, θ_2 = sudut datang dan sudut bias

v_1 = kecepatan rambat gelombang dalam medium 1

v_2 = kecepatan rambat gelombang dalam medium 2

n_1, n_2 = indeks bias kedua medium

3. Hamburan (Scattering)

Hamburan terjadi jika dimensi obyek refleksi sama atau lebih kecil dari panjang gelombangnya. Jika lebih kecil dari panjang gelombang, gelombang elektromagnetik akan dihamburkan kesegala arah. Intensitas hamburan sangat tergantung pada frekuensi dan intensitas ini sangat lemah jika dibandingkan dengan refleksi spekular (Heggie, dkk, 1997).

2.1.8 Interaksi Cahaya dengan Dielektrik

Persamaan gelombang (Daniel, 2008):

$$E^{(+)}(r) = E_0^{(+)} e^{ikz} = E_0^{(+)} e^{k - zeik + z} \quad (2.14)$$

Sebagaimana yang terlihat untuk refleksi internal, gelombang akan menyebar dan meredam. Bagian imajiner dari indek bias gelombang akan menyebabkan redaman sedangkan bagian yang real akan menyebar. Kita dapat

mendefinisikan suatu skin depth δ untuk gelombang teredam dengan (Daniel, 2008):

$$e^{-k-z} = e^{-z/\delta} \quad (2.15)$$

Sehingga,

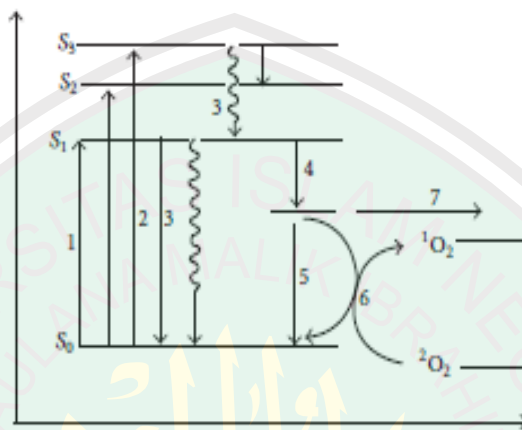
$$\delta = \frac{1}{k-} = \frac{1}{\omega \sqrt{\mu_0 \epsilon_0 n k}} = \frac{\lambda_0}{2\pi n k} = \frac{\lambda_0}{2\pi \text{Im}[\tilde{n}]} \quad (2.16)$$

Faktor $k-$, bagian imajiner dari k , menjelaskan terjadinya atenuasi gelombang, yaitu gejala melemahnya amplitudo seiring dengan bertambahnya jarak tempuh gelombang. Disamping itu, $k-$ juga menentukan kedalaman skin depth, yaitu suatu jarak tertentu dimana amplitudo gelombang melemah, untuk konduktor yang baik, nilai $n k$ besar sehingga $\delta \ll \lambda_0$. Ini disebut skin effect. Selain itu gelombang elektromagnetik menembus permukaan dengan hanya sebagian kecil dari panjang gelombang (Supriyanto, 2007).

2.1.9 Interaksi Cahaya terhadap Sel Bakteri

Mekanisme *Photodynamic Terapi* (PDT) mempunyai berbagai macam proses. Pada gambar 2.2 menggambarkan terjadinya interaksi cahaya terhadap sel bakteri. Cahaya yang di pancarkan akan di serap oleh elektron (molekul) untuk membangkitkan dalam keadaan pertama dan kemudian sistem dalam memotong pada keadaan triplet. Dalam proses ini, fluoresensi diserap dari keadaan pertama ke keadaan dasar dan energi bisa dihilangkan melalui kerusakan bukan radiasi. Dari keadaan triplet, energi yang hilang akan menghasilkan pancaran sinar atau radiasi fosforesensi dengan waktu hidup yang lama (mikrodetik), kemudian energi tersebut dilanjutkan kepada oksigen terdekat untuk menghasilkan jenis

reaksi oksigen dan sebagian dari energi yang lain akan mengalami proses efek fotokimia, dimana dalam proses fotokimia tersebut membrane sel akan membengkak dan setelah itu pecah (Suryani, 2011):



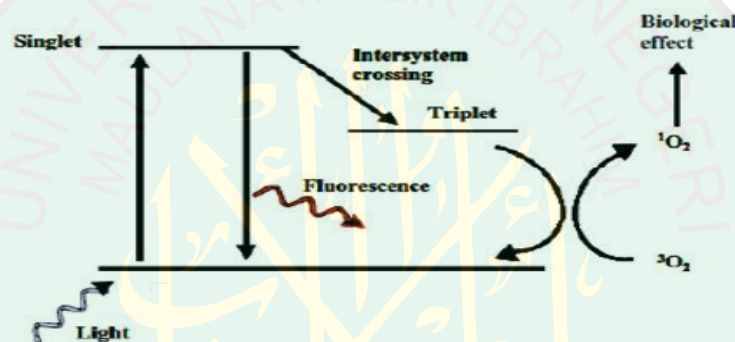
Gambar 2.2 Mekanisme cahaya terhadap sel bakteri (You et al. 2013)

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

1. Molekul yang tereksitasi secara optis bereaksi secara langsung dengan substrat seperti membran sel atau molekul, dan mentransfer sebuah proton atau elektron membentuk anion atau kation radikal. Radikal ini akan bereaksi dengan oksigen menghasilkan oksigenreaktif (ROS). Superoksida anion yang terbentuk akan bereaksi dengan substrat menghasilkan hidrogen peroksida (H_2O_2). Pada konsentrasi tinggi hidrogen peroksida bereaksi dengan superoksida anion membentuk hidroksil radikal (reaksi Haber Weiss) yang dengan mudah berdifusi melalui membran dan merusak sel.
2. Keadaan triplet dapat mentransfer energinya secara langsung pada molekul oksigen yang berada pada keadaan eksitasi triplet membentuk oksigen singlet (1O_2) tereksitasi. Pada keadaan dasar, kebanyakan molekul organik memiliki

semua pasangan spin elektron. Selama transisi elektronik, ketika elektron mengalami eksitasi ke tingkat energi yang lebih tinggi, elektron menjadi orbital yang tidak berpasangan. Spin mereka diorientasikan dalam bentuk anti paralel atau paralel yang lain.

Molekul oksigen dapat berada pada keadaan eksitasi triplet, sehingga dapat bereaksi secara langsung dengan triplet sehingga menghasilkan oksigen singlet seperti yang ditunjukkan oleh gambar 2.3



Gambar 2.3 Diagram level energi reaksi fotokimia (Suryani, 2011)

Keberhasilan penghambatan pertumbuhan bakteri ditentukan oleh kesesuaian panjang gelombang cahaya dan penyerapan oleh bakteri *Staphylococcus epidermidis*. Faktor penentu lain adalah dosis energi penyinaran. Dosis energi yang sesuai akan mengaktifasi terjadinya reaksi kimia menghasilkan berbagai spesies oksigen reaktif yang menyebabkan penonaktifan pada bakteri (Suryani, 2011).

2.2 Bakteri

2.2.1 Definisi Bakteri

Bakteri terdapat secara luas di lingkungan alam yang berhubungan dengan hewan, tumbuh-tumbuhan, udara, air dan tanah. Kata bakteri berasal dari bahasa

latin *bacterium* (jamak, bacteria) adalah kelompok terbanyak dari organisme hidup. Bakteri adalah mikroorganisme bersel tunggal tidak terlihat oleh mata, berukuran antara 0,5-10 μm dan lebar 0,5-2,5 μm tergantung pada jenisnya. Terdapat beribu jenis bakteri, tetapi hanya beberapa bakteri yang ditemukan, diantaranya bulat, batang, spiral dan koma atau vibrios (Buche, dkk, 1987).

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

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

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

Menurut asy-syaukani (2008) mengatakan bahwa lafadz *فما فوقها* (atau yang lebih rendah dari itu) pada ayat di atas maksudnya yaitu apa yang lebih kecil dari pada nyamuk dari segi makna dan fisik, mengingat nyamuk adalah makhluk kecil dan tidak berarti. Adapun hewan yang melebihi nyamuk atau yang lebih kecil di bandingkan nyamuk antara lain adalah bakteri. Umumnya ukuran bakteri sangat kecil, bentuk tubuh bakteri baru dapat di lihat dengan menggunakan mikroskop dengan pembesaran 1.000 X atau lebih (Waluyo, 2004).

Bakteri adalah organisme bersel satu yang mempunyai kekhasan khusus dalam kondisi komposisi sel dibandingkan dengan sel makhluk lain pada

umumnya. Organisme ini tidak memiliki selaput inti, tidak memiliki plastid khusus yaitu zat warna pada membran, tidak memiliki organel berselaput, mitokondria, lisosom, badan golgi dan retikulum endoplasma (RE), nucleus, dan nukleoplasma (Wildan Yatim dan Aryani, 1987).

2.2.2 Morfologi Bakteri

Morfologi dalam cabang ilmu biologi adalah ilmu tentang bentuk organisme terutama hewan dan tumbuhan dan mencakup bagian-bagiannya. Morfologi bakteri dapat dibedakan menjadi dua yaitu (Jawetz, 1996):

1. Morfologi Makroskopik (Kolonial Morfologi)
 - Karakteristik koloni : Pengamatan pada plate agar
 - Colony's Shape, ukuran, edge/margin, chromogenesis/pigmentasi, opacity, ketinggian, permukaan, konsistensi, emulsifiability dan bau
2. Morfologi Mikroskopik (Seluler morfologi)
 - Struktur sel bakteri : pengamatan di bawah mikroskop
 - Dinding sel, membrane plasma, sitoplasma, ribosom, DNA, dan granula penyimpanan, kapsul, flagellum, pilus (pii), klorosom, vakuola gas dan endospora.

2.2.3 Struktur Bakteri

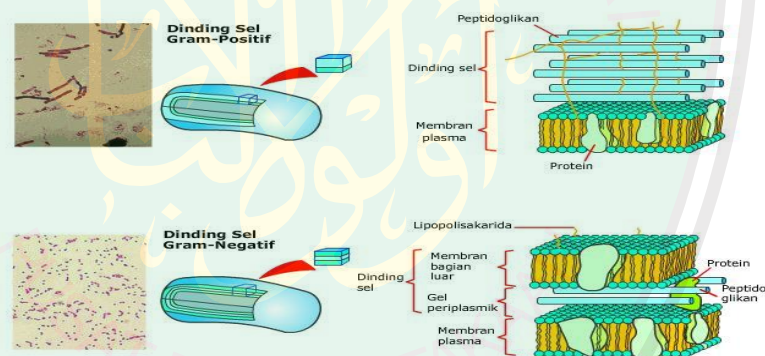
1. Dinding sel

Dinding sel tersebut terdiri dari berbagai bentuk dan ukuran. Dinding sel ini berfungsi sebagai pertahanan bakteri agar dapat bertahan hidup dalam

lingkungannya serta mempertahankan tekanan osmotik bakteri. Isi sel berupa protoplasma dan membrane plasma (Jawetz, 1996).

Bakteri terbagi menjadi dua, yaitu (Jawetz, 1996):

- a. Gram positif yaitu bakteri yang bila diwarnai dengan kristal ungu atau yodium lalu di cuci dengan alkohol akan tetap mempertahankan warna ungu setelah pewarnaan. Hal ini terjadi karena bakteri gram positif mempunyai lapisan peptidoglikan yang lebih tebal.
- b. Gram negatif yaitu kebalikan dari gram positif dimana bakteri tersebut akan kehilangan warna ungunya setelah di cuci di karenakan peptidoglikan gram negatif lebih tipis.

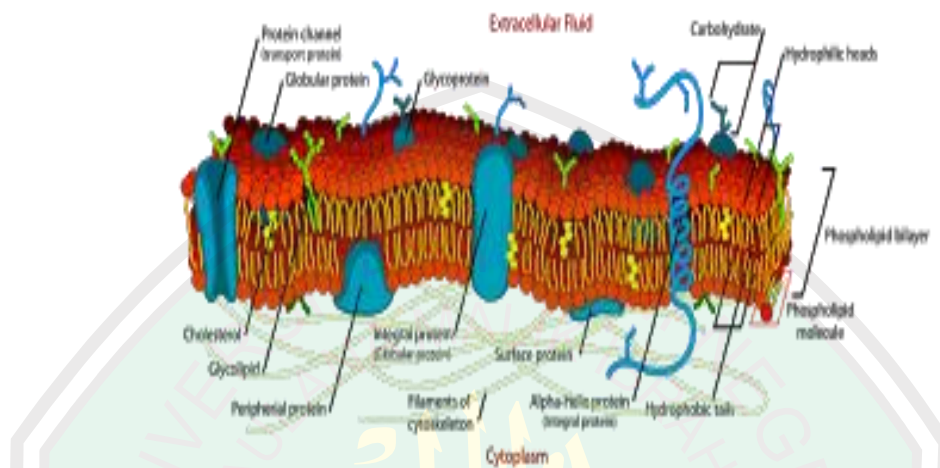


Gambar 2.4 Gram positif dan gram negatif bakteri (Husna, 2013)

2. Membran plasma

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

karbohidrat, enzim dan ion. Komponen kimiawi yang terlihat secara morfologis adalah karbohidrat, protein, dan lipida (Irfan, 2014).



Gambar 2.5 Membran plasma (Safriani, 2010)

Adapun fungsi membran sel adalah (Irfan, 2014):

1. Mengatur permeabilitas terhadap senyawa-senyawa atau ion-ion yang melewatinya permeabilitas ini terutama diatur oleh protein integral.
2. Protein selaput yang berfungsi sebagai protein pengenalan atau sebagai reseptor molekul-molekul khusus (hormon, antigen, metabolit) dan agensia khas (bakteri dan virus)
3. Protein selaput berfungsi sebagai enzim khusus misalnya pada selaput mitokondria, kloroplas, retikulum endoplasma, aparatus golgi selaput sel dan lain-lain.
4. Selaput sebagai kelompokan molekul juga berfungsi sebagai reseptor terhadap perubahan lingkungan seperti perubahan suhu, macam dan intensitas cahaya.

3. Sitoplasma (cairan sel)

Didalam sitoplasma terdapat beberapa komponen dasar, yaitu (Campbell, dkk, 2002):

a. Materi inti

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

b. Ribosom

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

c. Granula Sitoplasma

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

d. Plasmid

Plasmid merupakan sebuah ekstrakromosomal DNA terintegrasi dalam Kromosom Eadaran (Campbell, dkk, 2002).

2.3 *Staphylococcus epidermidis*

2.3.1 Klasifikasi *Staphylococcus epidermdis*

Dari Breed, et al (1957) klasifikasi *Staphylococcus epidermidis* yaitu :

Kingdom : *Protista*

Divis (Dvisio) : *Schizophyta*

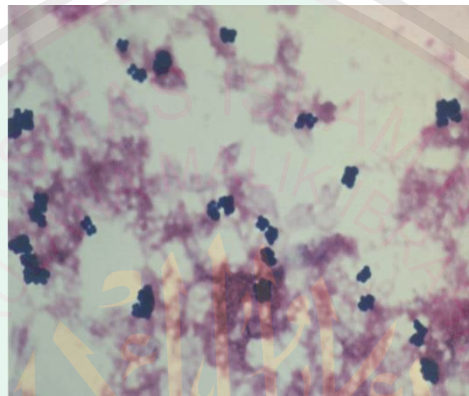
Kelas (Classis) : Schizomycetes

Bangsa (ordo) : Eubacteriales

Suku (Familia) : Enterobacteriaceae

Marga (Genus) : Staphylococcus

Jenis (Spesies) : Staphylococcus epidermidis



Gambar 2.6 *Staphylococcus epidermidis* (Muhammad, 2014)

2.3.2 Karakteristik dan Morfologi Dari Bakteri *Staphylococcus epidermidis*

Bakteri *Staphylococcus epidermidis* merupakan flora normal yang terdapat dikulit, selaput lendir, bisul, dan luka manusia. Bakteri ini adalah salah satu pathogen untuk infeksi nosokomial khususnya yang berkaitan dengan infeksi benda asing dan menghasilkan glycocalyx atau lendir sebagai perekat pada sel dan resistan terhadap fagositosis maupun beberapa jenis antibiotik (Tortora, 2010).

Adapun ciri-ciri bakteri *Staphylococcus epidermidis* adalah (Tortora, 2010):

- Gram positif, koagulase negatif, katalase positif
- Aerob atau anaerob
- Berbentuk kokus tunggal, berpasangan, tetrad dan berbentuk rantai juga tampak dalam biakan air
- Berdiameter 0.5-1.5 μm yang tersusun dalam kuster yang tidak teratur

- Bakteri tidak memiliki kapsul, tidak berspora dan tidak bergerak
- Berkoloni bergerombol menyerupai buah anggur. Koloni biasanya berwarna putih atau krem bersifat anaerob
- *Staphylococcus epidermidis* tumbuh cepat pada suhu optimum 37°C

2.3.3 Penyakit Penyebab Bakteri *Staphylococcus epidermidis*

Secara klinis, bakteri ini menyerang orang-orang yang rentan atau imunitas rendah, seperti penderita AIDS, pasien kritis, pengguna obat terlarang (narkotika), bayi yang baru lahir, dan pasien rumah sakit yang dirawat dalam waktu lama (Dhinar, 2011).

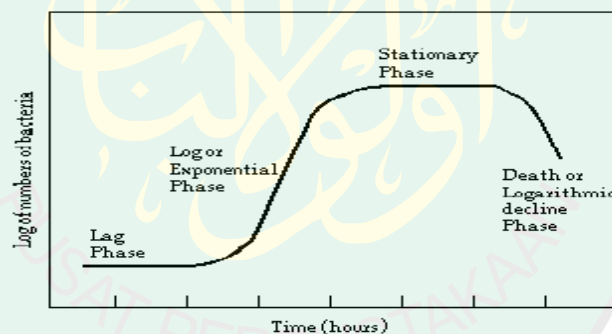
Infeksi *Staphylococcus epidermidis* berhubungan dengan perangkat intravaskular (katup jantung buatan, shunts, dll), tetapi biasanya terjadi pada sendi buatan, kateter, dan luka besar. Infeksi kateter bersama dengan kateter-induced menyebabkan peradangan serius dan sekresi nanah. Dalam hal ini, buang air kecil sangat menyakitkan (Dhinar, 2011).

Septicaemia dan endokarditis termasuk penyakit yang berhubungan dengan *Staphylococcus epidermidis*. Gejala yang timbul adalah demam, sakit kepala, dan kelelahan untuk anoreksia dan dyspnea. Septicemia terjadi akibat infeksi neonatal, terutama ketika bayi lahir dengan berat badan sangat rendah. Sedangkan, Endokarditis adalah infeksi katup jantung dan bagian lapisan dalam dari otot jantung. *Staphylococcus epidermidis* dapat mencemari peralatan perawatan pasien dan permukaan lingkungan (Dhinar, 2011).

2.3.4 Pertumbuhan Bakteri *Staphylococcus epidermidis*

Jay (2000), mengemukakan bahwa faktor yang dapat mempengaruhi kecepatan pertumbuhan mikroorganisme dapat dikelompokkan menjadi dua, yaitu faktor ekstrinsik dan intrinsik. Faktor ekstrinsik berhubungan dengan faktor lingkungan yang dapat mempengaruhi kecepatan pertumbuhan mikroba. Faktor ekstrinsik tersebut diantaranya suhu, ketersediaan oksigen, dan kelembaban (RH). Sedangkan faktor intrinsik lebih berkaitan dengan kondisi substrat, yang meliputi aktivitas air (A_w), tingkat keasaman (pH), potensi reduksi-oksidasi, keberadaan nutrisi yang diperlukan.

Pertumbuhan bakteri dengan pembelahan biner terdiri dari beberapa fase, di antaranya (Litaay, 2013).



Gambar 2.7 Fase pertumbuhan mikroorganisme (Schaechter *et al.*, 1993)

Keterangan :

X Waktu inkubasi

Y Jumlah sel bakteri

- a. Tahap anjang-ancang
- b. Tahap eksponensial
- c. Tahap stasioner
- d. Tahap menuju kematian

1. Pada jam ke-0 hingga jam ke-6 pada bakteri *Staphylococcus epidermidis* menunjukkan pertumbuhan bakteri memasuki fase adaptasi (*lag phase*). Lama fase adaptasi tergantung pada komposisi medium, pH, suhu, aerasi, jumlah sel pada inokulum awal dan sifat fisiologis mikroorganisme pada medium sebelumnya.
2. Fase logaritmik diketahui pada jam ke-7 hingga jam ke-10. Dimana mikroba mulai melakukan pertumbuhan melalui pembelahan biner. Selama fase ini, terjadi peningkatan jumlah mikroba secara eksponensial sampai faktor yang mendukung pertumbuhannya mulai terbatas. Laju penambahan jumlah sel yang terbentuk, sangat dipengaruhi oleh kondisi lingkungannya. Dalam hal ini terdapat keragaman kecepatan pertumbuhan berbagai mikroorganisme (Rashid, 2006).
3. Fase stasioner bakteri *Staphylococcus epidermidis* terjadi pada jam ke-12 hingga jam ke-18.
4. Fase kematian (*death phase*) *Staphylococcus epidermidis* terjadi pada jam ke-20 sampai jam ke-24 yang ditunjukkan dengan penurunan nilai absorbansi. Untuk itu penambahan bakteri *Staphylococcus epidermidis* ke dalam akuarium-akuarium limbah cair rumah sakit dilakukan pada jam ke-7 dari pembuatan starter (Rashid, 2006).

2.4 Biofilm

2.4.1 Pengertian Biofilm

Defenisi biofilm telah berkembang sejak 25 tahun yang lalu. Marshall (1976) mencatat keterlibatan dari fibril polimer ekstraseluler yang sangat halus

yang membawa bakteri ke permukaannya. Costerton melakukan observasi pada komunitas bakteri pada sistem akuatik yang ditemukan terperangkap dalam matrik glikokalik yang didapati pada polisakarida dan matrik ini ditemukan dapat memediasi penempelan atau proses adesi. Costerton mengatakan bahwa biofilm terdiri dari sel tunggal dan mikrokoloni, dimana semuanya terperangkap dalam matrik eksopolimer anion (Costerton, 1999; Cowan, 1991).

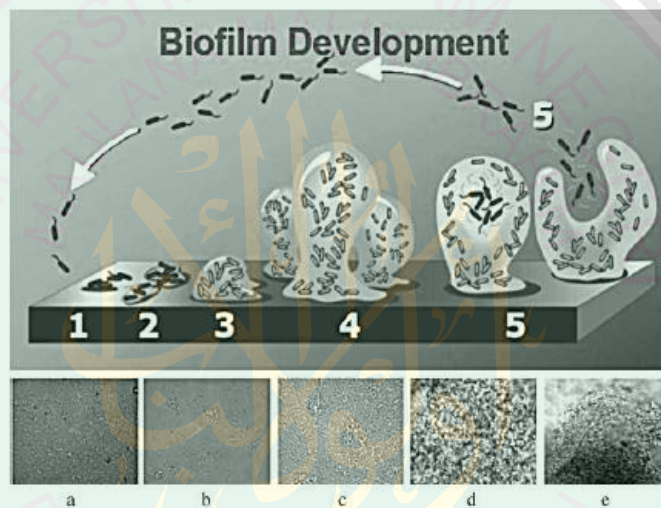
Menurut Donlan (2002) biofilm merupakan suatu lapisan tipis bakteri yang menempel pada permukaan matriks yang lembab dan lengket seperti mukosa dan alat-alat yang dipasang di dalam tubuh, yang menyebabkan bakteri resisten terhadap proses fagositosis sel darah putih dan efek antibiotika.

Sebuah penelitian menemukan bahwa 95% dari pasien dengan infeksi saluran kencing terjadi akibat pemasangan kateter urin 87% infeksi hematogen terjadi akibat pemakaian vaskular kateter, dan 87% pasien dengan pneumonia terjadi akibat ventilasi mekanik (Habash, 1999).

Biofilm terdiri dari lapisan gel yang terbentuk dari multispecies mikroorganisme dan matrik yang tersusun secara tidak beraturan serta bahan-bahan organik yang terperangkap didalamnya yang melekat kuat (irreversibel) pada suatu permukaan padat. Pelekatan ke suatu material terjadi dengan menggunakan matrik ekstrasellular yang dihasilkan oleh mikroorganisme tersebut yang terdiri dari polisakarida (Characklis & Marshall, 1990). Matrik ini berupa struktur benang-benang bersilang satu sama lain yang dapat berupa perekat bagi biofilm (anonymous, 2014).

2.4.2 Proses Pembentukan Biofilm

Adapun proses terbentuknya biofilm melalui lima proses, diantaranya (Donlan, 2002): Fase pertama, perlekatan awal dari sel terhadap permukaan alat. Fase kedua, produksi dari pada *EPS*. Fase ketiga, pertumbuhan awal dari arsitektur biofilm. Fase keempat, terjadi maturasi dari arsitektur biofilm. Fase kelima, menunjukkan penyebaran dari sel biofilm.



Gambar 2.8 Proses pembentukan biofilm (Donlan, 2002)

Biofilm tersusun dari substansi polimer tambahan / *Extra Polymeric Substance (EPS)* dan sel-sel mikrobial. Komponen *EPS* meliputi 50-90% dari biofilm. Biofilm memiliki hidrasi yang baik karena dapat mengikat air dalam jumlah besar melalui ikatan hidrogen.

EPS dapat bersifat baik hidrofobik maupun seimbang antara hidrofobik dan hidrofilik. Mikroorganisme yang berbeda akan menghasilkan kuantitas *EPS* yang berbeda dimana kuantitas *EPS* ini akan bertambah besar seiring dengan usia biofilm. Perkembangan bakteri yang lambat akan menginduksi pembentukan *EPS*.

EPS memegang peranan penting di dalam resistensi biofilm terhadap terapi antimikrobal (Donlan, 2002; Habash, 1999).

Ada tiga mekanisme pelepasan biofilm secara fisik. Pertama adalah pelepasan sebagian kecil dari biofilm secara konstan, pelepasan secara luas dan mendadak, dan pelepasan akibat gesekan cairan pada permukaan biofilm. Laju pelepasan biofilm tergantung dari ketebalan dan gesekan pada daerah kontak biofilm dengan aliran cairan. Pelepasan secara luas dan mendadak terjadi akibat kurangnya nutrisi atau oksigen. Pelepasan biofilm dapat terjadi secara spesifik pada spesies mikroorganisme tertentu. Metode ini memberikan kesempatan kepada sel-sel pada biofilm untuk berpindah tempat dari daerah dengan nutrisi yang rendah menuju daerah lain yang dapat menunjang pertumbuhan biofilm dengan lebih baik (Donlan, 2002; Habash, 1999).

Terdapat empat sifat biofilm yang memiliki dampak besar pada perkembangan penyakit infeksi. Pertama, pelepasan sel atau biofilm dapat menyebabkan infeksi sistemik atau saluran kemih atau dapat menyebabkan pembentukan emboli (berhubungan dengan platelet, fibrin, dan eritrosit). Kedua, Sel-sel pada biofilm memiliki kemampuan untuk mentransfer plasmid untuk resistensi. Hal ini merupakan penyebab utama mengapa biofilm resisten terhadap sebagian besar antimikroba dan desinfektan. Ketiga, Pembentukan endotoksin oleh bakteri gram negatif. Endotoksin terbentuk pada saat bakteri mati dan materi intraselulernya terlepas keluar. Bakteri gram negatif pada biofilm dapat membentuk endotoksin yang dapat melewati membran dialisis pada pasien-pasien yang menjalani hemodialisis. Hal ini tentu menjadi masalah. Keempat, Resistensi

biofilm terhadap sistem imunitas *host* karena *EPS* yang dihasilkan oleh bakteri akan menghambat aktivitas fagositik makrofag.

2.4.3 Interaksi Cahaya dan Suhu Terhadap Biofilm

Apabila suatu bakteri yang dikenai suhu yang tinggi, maka bakteri tersebut mengalami denaturasi protein yang melibatkan perubahan sifat kimia atau fisik protein. Denaturasi termasuk perubahan struktural akibat rusaknya ikatan kimia. Kerusakan ikatan kimia ini membuat absorpsi terhadap cahaya meningkat. Ketika diberikan cahaya, maka elektron-elektronnya secara spontanitas akan menyerap cahaya itu. Elektron yang telah menyerap cahaya, jumlah energinya menjadi lebih besar dan pada saat atom tersebut kembali ke orbit dengan tingkat energi yang lebih rendah sehingga akan menghasilkan 2 macam keadaan tereksitasi yaitu keadaan singlet dan triplet, maka sebagian dari energi tersebut akan mengalami proses efek fotokimia, dimana dalam proses fotokimia tersebut membrane sel akan membengkak dan setelah itu pecah (Rashid, 2006).

2.4.4 Efek Biologis

Salah satu efek biologis dari pengaruh cahaya dan suhu terhadap bakteri adalah kerusakan sel. Kerusakan sel ini akan berpengaruh terhadap aktivitas di dalam sel, seperti aktivitas metabolisme di dalam sel. Membran sel akan mengalami kerusakan jika diberikan perlakuan suhu yang ekstrim, suhu lingkungan yang berada lebih tinggi dari suhu yang dapat ditoleransi akan menyebabkan denaturasi protein dan komponen sel esensial lainnya sehingga sel akan mati. Demikian pula bila suhu lingkungannya berada di bawah batas

toleransi, membran sitoplasma tidak akan berwujud cair sehingga transportasi nutrisi akan terhambat dan proses kehidupan sel akan terhenti (Clark, 2009).

Mekanisme kerusakan sel terlebih dahulu mengalami proses nekrosis diawali dengan kerusakan membran yakni proses pelepasan membran sel. Tingkat keparahan kerusakan membran ini juga merusak lisosom sehingga membuat organel pencernaan tersebut mengeluarkan enzimnya ke dalam cairan sel (sitoplasma), sehingga seluruh organel dan komponen sel “dikunyah” oleh enzim tersebut. Sedangkan proses apoptosis adalah kebalikannya, kerusakan justru berawal dari satuan terkecilnya yaitu kerusakan DNA dan larutnya inti sel. Selanjutnya sel tersebut terpecah menjadi pigmen-pigmen kecil dan mengalami fagositosis (Clark, 2009).

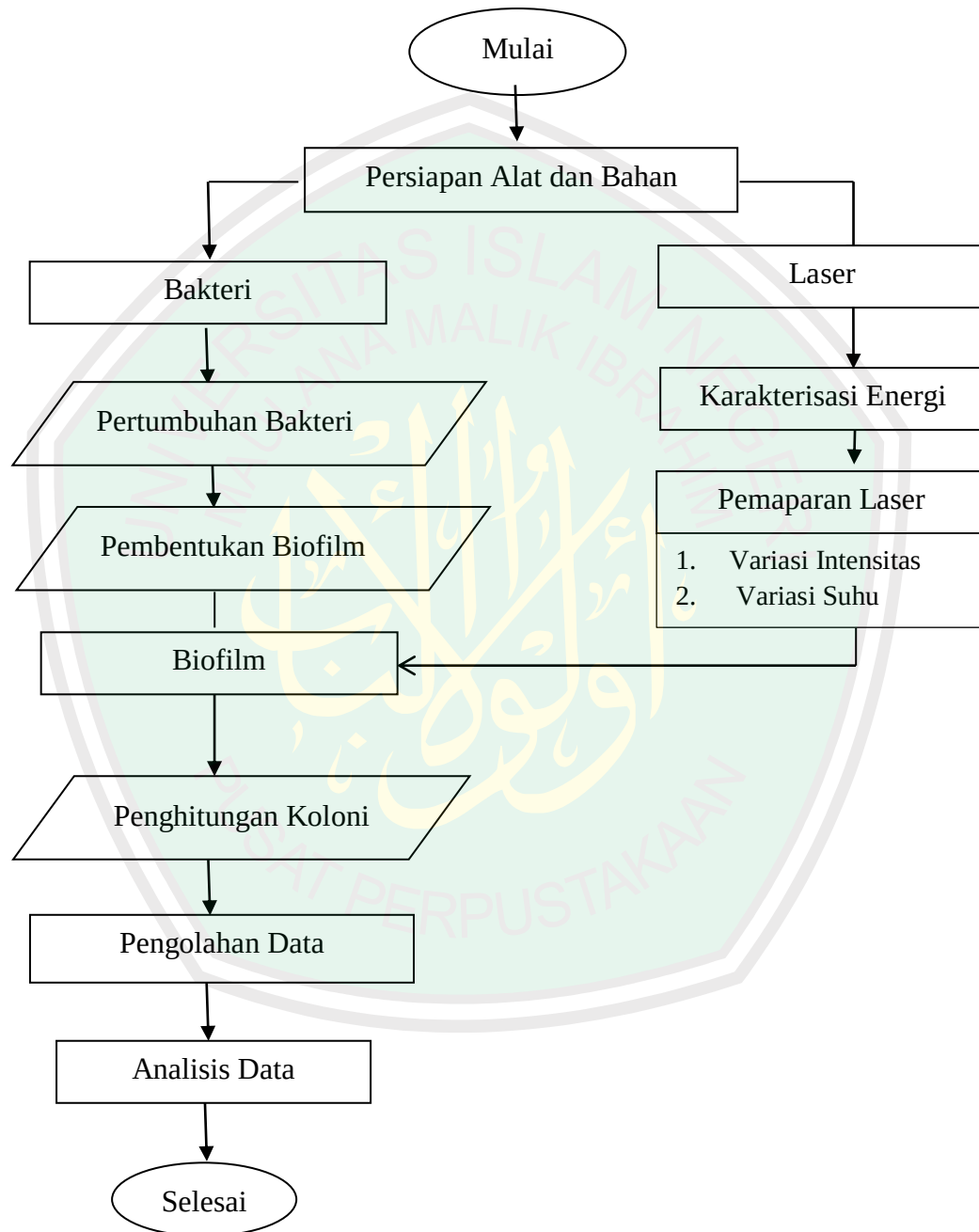
BAB III

METODE PENELITIAN

3. 1 Desain Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah di atas, penelitian ini menggunakan pendekatan eksperimen laboratorik, karena data yang diperlukan bersifat data yang diambil langsung dari objek penelitian. Dalam penelitian ini sampel yang digunakan adalah biofilm dari bakteri *Staphylococcus epidermidis* yang dipapari sinar laser dengan intensitas cahaya 0 mW/cm², 60 mW/cm², 35 mW/cm², 15 mW/cm² dengan suhu 30 °C, 40 °C, 50 °C, 60 °C selama 30 menit. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh intensitas cahaya, dan suhu lingkungan terhadap biofilm bakteri *Staphylococcus epidermidis*. Adapun prosedur penelitian adalah sebagai berikut: sterilisasi alat dengan autoklaf, penyiapan media NA (*Nutient Agar*), PCA (*Plate Count Agar*), dan NB (*Nutrient Broth*), peremajaan bakteri *Staphylococcus epidermidis*, kemudian pembuatan sampel dengan cara memasukkan lempeng kateter steril ke dalam media NB 50 ml yang sudah ditumbuhi bakteri *Staphylococcus epidermidis*. Lempeng ini digunakan untuk substrak pelekatan biofilm. Media NB diinkubasi pada inkubator pada suhu ruang 37⁰ C selama 6 hari. Selanjutnya diberi perlakuan dengan pemaparan sinar laser dan variasi suhu lingkungan. Setelah itu penghitungan jumlah bakteri yang membentuk biofilm. Dari hasil perhitungan tersebut dilihat perbandingan antara bakteri yang terpapar sinar laser dan tidak terpapar kemudian dianalisis menggunakan analisis deskriptif, yang bertujuan untuk mengetahui intensitas cahaya dan suhu lingkungan yang paling efektif untuk penonaktifan

Staphylococcus epidermidis. Untuk prosedur penelitian lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 3.1



Gambar 3.1 Diagram alir penelitian

3.2 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Optik Jurusan Fisika dan Laboratorium Mikrobiologi Jurusan Biologi Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang, sedangkan waktu penelitian di mulai pada tanggal 2 Maret s/d 3 Agustus 2015.

3.3 Alat dan Bahan Penelitian

3.1.1 Alat alat yang digunakan

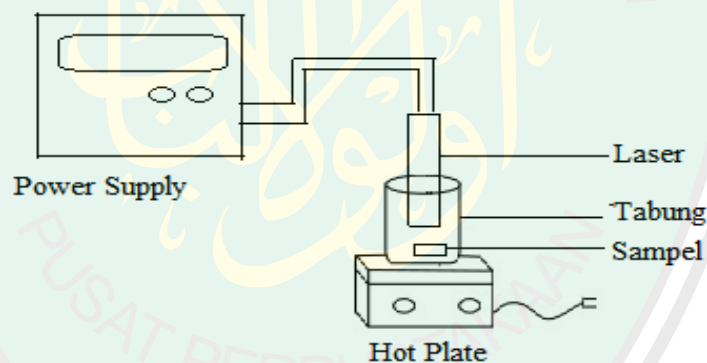
1. Power Suplly
2. Laser Dioda 3 buah
3. Erlenmeyer 250 ml 4 buah
4. Tabung reaksi 10 buah
5. Rak tabung reaksi 1 buah
6. LAF (Laminar Air Flow) 1 unit
7. Bunsen 1 buah
8. Kapas 1 pack
9. Tisu 1 pack
10. Botol Media 16 buah
11. Autoklaf 1 buah
12. Oven 1 buah
13. Cawan petri 36 buah
14. Alat Destruk 1 buah
15. Elpiji 1 buah
16. Pengaduk kaca 1 buah

17. Inkubator 1 buah
18. Plastik wrap 1 pack
19. Gelas ukur 50 ml 1 buah
20. Spertus
21. Korek api
22. Botol semprot 1 buah
23. Beaker glas 500 ml buah
24. Plastik bungkus 1 pack
25. Lup Meter
26. Termometer
27. Micropipet 1 buah
28. Jarum oose 1 buah
29. Botol flakon berukuran 20 ml 150 buah
30. Timbangan analitik 1 buah
31. Coloni counter
32. Hot plate
33. Stopwatch 1 buah
34. Pinset 1 buah
35. Blue tip
36. Water bath
37. Spatula
38. Hand konter
39. Aluminium foil

3.3.2 Bahan-bahan yang digunakan

1. Bakteri *Staphylococcus epidermidis*
2. Media NA (*Nutrien Agar*)
3. Media NB (*Nutrien Borth*)
4. Media PCA (*Plate Count Agar*)
5. Lempong kateter sebagai subtrak pembentuk biofilm
6. NaCl 0.9 %
7. Aquades 0.7
8. Alkohol 70 %

3.4 Desain Rangkaian



Gambar 3.2 Rangkaian Perlakuan Bakteri *Staphylococcus epidermidis*

3.5 Prosedur Penelitian

Adapun langkah-langkah dalam penelitian ini adalah:

3.5.1 Sterilisasi

Sterilisasi alat dilakukan sebelum semua peralatan digunakan, yaitu dengan cara membungkus semua peralatan dengan menggunakan kertas

aluminium foil kemudian dimasukkan ke dalam autoklaf pada suhu 121°C dengan tekanan 15 psi (*per square inci*) selama 15 menit. Untuk alat yang tidak tahan panas tinggi disterilisasi dengan zat kimia berupa alkohol 70 %.

3.5.2 Penyiapan Media NA (*Nutrien Agar*)

Langkah-langkah untuk membuat media NA antara lain:

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

3.5.3 Penyiapan Media NB (*Nutrien Broth*)

Langkah-langkah untuk membuat media NB antara lain:

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

3.5.4 Penyiapan Media PCA (*Plate Count Agar*)

Langkah-langkah untuk membuat media PCA antara lain:

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

3.5.5 Penyiapan Bakteri *Staphylococcus epidermidis*

Adapun langkah-langkah penumbuhan bakteri *Staphylococcus epidermidis*:

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

3.5.6 Pembuatan Biofilm Bakteri *Staphylococcus epidermidis*

- a. Kateter yang berukuran 1x1 cm dicuci dengan deterjen lalu disterilkan dengan autoklaf selama 15 menit, dengan tekanan 1 atm, suhu 121⁰ C. Kateter ini digunakan untuk pembentukan biofilm.
- b. Diambil 1 ose bakteri dari media NA dan dimasukkan ke dalam 50 ml media NB cair.
- c. Lempeng kateter dimasukkan ke dalam media NB cair yang sudah ditumbuhi bakteri
- d. Media NB diinkubasi dalam inkubator pada suhu 37⁰ C selama 6 hari .

- e. Pengujian SEM dilakukan untuk melihat banyaknya bakteri yang menempel pada lempeng kateter.
- f. Sampel biofilm yang telah diinkubasi selama 6 hari kemudian diberi paparan sinar laser.

3.5.7 Perlakuan Suhu dan Pemaparan Sinar Laser

1. Mempersiapkan alat dan bahan yang akan digunakan.
2. Lempeng kateter dimasukkan ke dalam botol media NB yang berisi bakteri sehingga membentuk biofilm.
3. Bakteri yang membentuk biofilm diberi paparan laser 0 mW/cm², 60 mW/cm², 35 mW/cm², 15 mW/cm² dengan suhu 30 °C, 40 °C, 50 °C, 60 °C selama 30 menit.
4. Perlakuan untuk paparan sinar laser diulangi sebanyak 3 kali pada sampel yang berbeda dengan suhu dan waktu yang sama.

3.5.8 Penghitungan Koloni Bakteri

1. Kateter yang telah dipapari sinar laser dimasukkan ke dalam 10 ml NaCl 0,9% pada botol flakon.
2. Botol flakon divorteks selama 1 menit untuk melepas sel biofilm.
3. Suspensi dari botol flakon yang sudah dipapari sinar laser kemudian dimasukkan ke dalam botol flakon steril yang berisi 9 ml aquades sebanyak 1 ml dan diberi tanda 10⁻¹.

4. Suspensi 10^{-1} yang sudah dihomogenkan kemudian dimasukkan ke dalam botol flakon steril yang berisi 9 ml aquades sebagai pengenceran kedua dan diberi tanda 10^{-2} .
5. Suspensi 10^{-2} yang sudah dihomogenkan kemudian dimasukkan ke dalam botol flakon steril yang berisi 9 ml aquades sebagai pengenceran ketiga dan diberi tanda 10^{-3} .
6. Suspensi 10^{-3} yang sudah dihomogenkan kemudian dimasukkan ke dalam botol flakon steril yang berisi 9 ml aquades sebagai pengenceran keempat dan diberi tanda 10^{-4} .
7. Pengenceran dilakukan sampai pengenceran ketujuh.
8. Suspensi pada pengenceran 10^{-7} sebanyak 1 ml dituangkan ke dalam cawan petri steril kemudian dituangkan media PCA (*Plate Count Agar*) cair kira-kira sebanyak 15 ml. Setelah itu dihomogenkan.
9. Semua proses di atas dilakukan secara aseptis yaitu di dekat api bunsen.
10. Media PCA kemudian dimasukkan ke dalam inkubator dengan posisi terbalik (bagian tutup berada di bawah) setelah media tersebut membeku.
11. Media PCA diinkubasi selama 24 jam.
12. Koloni dari bakteri *Staphylococcus epidermidis* kemudian dihitung dan diberi tanda dengan spidol untuk menghindari penghitungan ulang.

3.6 Teknik Pengumpulan Data

Data yang telah diperoleh yang berupa hasil perhitungan bakteri *Staphylococcus epidermidis* setelah diberi cahaya tampak (laser) dengan variasi intensitas dan variasi suhu lingkungan kemudian diolah dan dicatat pada table 3.1

Tabel 3.1 Pengolahan data jumlah bakteri

Waktu (Menit)	Perlakuan		Jumlah Sel Bakteri CFU/ml			Rata-rata
	Intensitas (mW/cm ²)	Suhu (⁰ C)	1	2	3	
-	-	-				
30 menit	0	30 ⁰ C				
		40 ⁰ C				
		50 ⁰ C				
		60 ⁰ C				
	60	30 ⁰ C				
		40 ⁰ C				
		50 ⁰ C				
		60 ⁰ C				
	35	30 ⁰ C				
		40 ⁰ C				
		50 ⁰ C				
		60 ⁰ C				
	15	30 ⁰ C				
		40 ⁰ C				
		50 ⁰ C				
		60 ⁰ C				

3.7 Teknik Analisis Data

Dengan membandingkan antara bakteri yang tidak terpapar sinar laser dengan kondisi dipanaskan dengan waktu pemaparan yang sama dengan variasi intensitas dan variasi suhu yang terjadi pada bakteri *Staphylococcus epidermidis* sesudah paparan. Data yang diperoleh selanjutnya dianalisis dengan metode grafik dan uji statistik dengan menggunakan analisis *Anova* yaitu untuk mengetahui perbedaan antar kelompok uji.

BAB IV

DATA HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Hasil Penelitian

Penelitian ini terdiri dari beberapa tahap. Tahap pertama adalah pembuatan sampel berupa biofilm. Pembuatan biofilm dilakukan dengan memasukkan lempeng kateter steril berukuran 1 cm^2 ke dalam 50 ml media NB yang sudah ditumbuhi bakteri *Staphylococcus epidermidis*, kemudian media tersebut di inkubasi pada suhu 37°C selama 6 hari. Tahap Kedua biofilm yang terbentuk pada kateter kemudian dipapari sinar laser dengan intensitas 0 mW/cm^2 , 15 mW/cm^2 , 35 mW/cm^2 , 60 mW/cm^2 , dan suhu 30°C , 40°C , 50°C , 60°C selama 30 menit. Pada saat dilakukan pemaparan, suhu lingkungan diatur terlebih dahulu dengan menggunakan hotplate dan termometer. Tahap ketiga, kateter yang sudah dipapari sinar laser selanjutnya dimasukkan ke dalam 10 ml NaCl 0,9% dan divorteks selama 1 menit untuk melepas sel biofilm dari kateter. Tahap keempat adalah melakukan pengenceran. Pengenceran dilakukan sampai pada pengenceran ketujuh di ruang *Laminar Air Flow* (LAF) kemudian diambil 1 ml suspensi dengan menggunakan mikropipet. Suspensi tersebut dimasukkan ke dalam cawan petri yang sudah diberi media PCA cair. Media PCA berfungsi sebagai media hidup sel. Cawan petri yang berisi bakteri diinkubasi selama 24 jam dengan suhu 37°C . Tahap terakhir yaitu menghitung jumlah koloni bakteri *Staphylococcus epidermidis* dengan menggunakan *coloni counter* dan dihitung jumlah koloni bakterinya. Untuk mengetahui jumlah koloni bakteri *Staphylococcus epidermidis* dapat menggunakan persamaan:

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

Sehingga diperoleh data koloni seperti table 4.1.

Tabel 4.1 Data hasil rata-rata jumlah koloni bakteri *Staphylococcus epidermidis* yang terpapar sinar laser selama 30 menit

I (mW/cm ²)	Jumlah Bakteri (CFU/ml)				Kontrol
	30 °C	40 °C	50 °C	60 °C	
0	15.5x10 ⁸	9.7x10 ⁸	8.0x10 ⁸	5.7x10 ⁸	23.1 x 10 ⁸
15	15.2x 10 ⁸	9.0 x 10 ⁸	6.5 x 10 ⁸	4.9 x 10 ⁸	
35	14.7 x10 ⁸	6.5 x 10 ⁸	4.8 x 10 ⁸	3.3 x 10 ⁸	
60	11.5 x10 ⁸	5.7 x 10 ⁸	3.9 x 10 ⁸	2.7 x 10 ⁸	

Berdasarkan data pada tabel 4.1 di atas, diketahui bahwa paparan sinar laser dan penambahan suhu lingkungan dapat menurunkan jumlah bakteri *Staphylococcus epidermidis*. Jumlah rata-rata bakteri sebelum diberi paparan sinar laser sebanyak 23.1 x 10⁸ CFU/ml dan setelah diberi paparan sinar laser dengan intensitas cahaya 15 mW/cm² pada suhu lingkungan 40 °C, jumlah bakteri yang masih aktif sebanyak 9.0 x 10⁸ CFU/ml. Ketika intensitas cahaya ditingkatkan menjadi 60 mW/cm² dan suhu lingkungan menjadi 60 °C jumlah bakteri yang masih aktif sebesar 2.7 x 10⁸ CFU/ml. Hal ini membuktikan bahwa semakin besar intensitas cahaya dan suhu lingkungan, maka jumlah bakteri yang aktif akan semakin berkurang.

Selanjutnya, data jumlah bakteri *Staphylococcus epidermidis* yang terdapat pada tabel 4.1 digunakan untuk mengetahui nilai persentase penurunan bakteri dengan persamaan (Choirul Muslim, dkk: 2013):

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

Tabel 4.2. Data Persentase Penurunan Bakteri *Staphylococcus epidermidis* yang Diberi Paparan Sinar Laser dan Suhu Selama 30 Menit

Intensitas	Suhu	Persentase Penurunan Bakteri
0 mW/cm ²	30 °C	32,9 %
	40 °C	58,0 %
	50 °C	65,4 %
	60 °C	75,3 %
15 mW/cm ²	30 °C	34,2 %
	40 °C	61,0 %
	50 °C	71,9 %
	60 °C	78,8 %
35 mW/cm ²	30 °C	36,4 %
	40 °C	71,9 %
	50 °C	79,2 %
	60 °C	85,7 %
60 mW/cm ²	30 °C	50,2 %
	40 °C	75,3 %
	50 °C	83,1 %
	60 °C	88,3 %

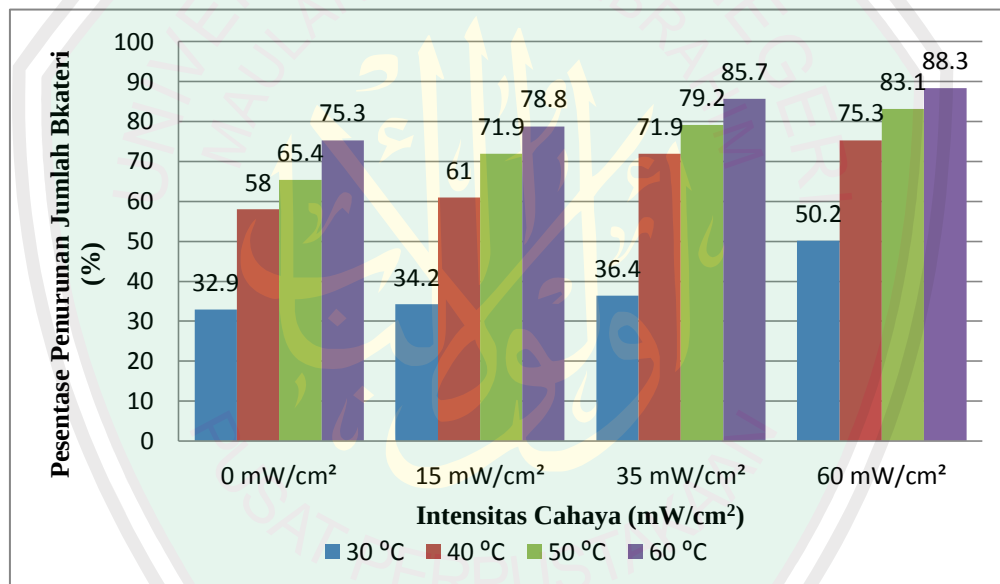
Berdasarkan data persentase penurunan jumlah bakteri pada tabel 4.2 menunjukkan bahwa intensitas cahaya 0 mW/cm² dan pada suhu lingkungan 30 °C persentase penurunan jumlah bakteri *Staphylococcus epidermidis* sebesar 30,7 %. Intensitas cahaya 15 mW/cm² pada suhu lingkungan 40 °C persentase penurunan jumlah bakteri *Staphylococcus epidermidis* sebesar 61,0 %. Ketika intensitas cahaya ditingkatkan menjadi 60 mW/cm² dengan suhu lingkungan 60 °C persentase penurunan jumlah bakteri *Staphylococcus epidermidis* menjadi 88,3%. Hal ini menunjukkan bahwa semakin besar intensitas cahaya dan suhu lingkungan yang diberikan maka semakin besar persentase penurunan jumlah koloni bakteri *Staphylococcus epidermidis*.

4.2 Analisis Data

Hasil penelitian dianalisis dengan analisis deskriptif dan analisis Statistik 15 dan output hasil analisis data dapat dilihat di bawah ini.

4.2.1 Analisis Deskriptif

Dari hasil pengamatan yang sudah dilakukan dengan variasi intensitas, terdapat hubungan antara intensitas cahaya dengan persentase penurunan jumlah koloni bakteri *Staphylococcus epidermidis* seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.1.

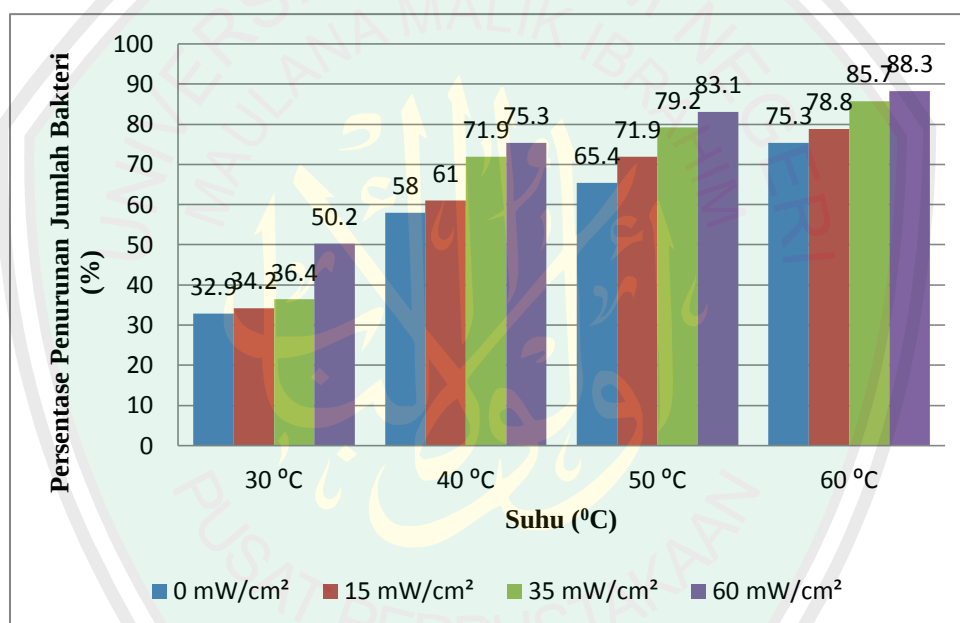


Gambar 4.1 Diagram persentase penurunan jumlah koloni bakteri *Staphylococcus epidermidis* dengan variasi intensitas cahaya

Berdasarkan gambar 4.1 menunjukkan bahwa pemaparan sinar laser dengan intensitas cahaya yang semakin besar akan menghambat pada pertumbuhan bakteri *Staphylococcus epidermidis*, seperti yang digambarkan diatas pada intensitas cahaya 60 mW/cm² dan suhu lingkungan 60 °C persentase penurunan jumlah bakteri sebesar 88,3%. Hal ini di karenakan cahaya laser (foton) yang dipancarkan akan diabsorpsi oleh elektron-elektron pada molekul atom sel

bakteri, setelah itu molekul atau atom tersebut akan tereksitasi sehingga terjadi reaksi fotokimia di dalam membrane sel bakteri dan menyebabkan sel bakteri mati.

Pemaparan sinar laser terhadap biofilm dari bakteri *Staphylococcus epidermidis* dengan penambahan suhu lingkungan berpengaruh terhadap persentase penurunan jumlah koloni bakteri *Staphylococcus epidermidis*, seperti ditunjukkan pada gambar 4.2.

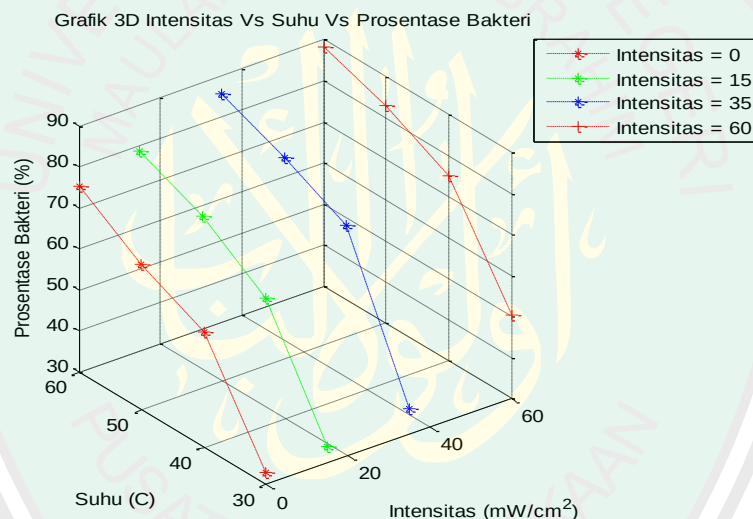


Gambar 4.2 Diagram persentase penurunan jumlah kol bakteri *Staphylococcus epidermidis* dengan variasi suhu

Hasil analisis pada gambar 4.2 menunjukkan adanya pengaruh interaksi antara suhu lingkungan dengan persentase penurunan jumlah bakteri *Staphylococcus epidermidis* dimana persentase penurunan jumlah bakteri meningkat tpada suhu lingkungan 60 °C dengan intensitas cahaya 60 mW/cm² sebesar 88,3%. Hal ini membuktikan bahwa pemberian suhu dapat menghambat pertumbuhan bakteri. Karena membrane sel akan mengalami kerusakan akibat pengaruh suhu yang tinggi. Kerusakan membrane sel ini menimbulkan denaturasi

protein. Denaturasi protein akan mengakibatkan kerusakan pada dinding sel. Selanjutnya sel tersebut akan pecah menjadi pigmen-pigmen kecil dan mengalami fagositosis.

Intensitas pemaparan sinar laser dan suhu lingkungan yang optimum dalam menghambat pertumbuhan biofilm bakteri *Staphylococcus epidermidis* yaitu dengan intensitas 60 mW/cm² dan pada suhu lingkungan 60 °C dengan jumlah koloni bakteri aktif 2.7×10^8 dengan persentase penurunan jumlah koloni bakteri 88.3%. Seperti yang ditunjukkan gambar 4.3

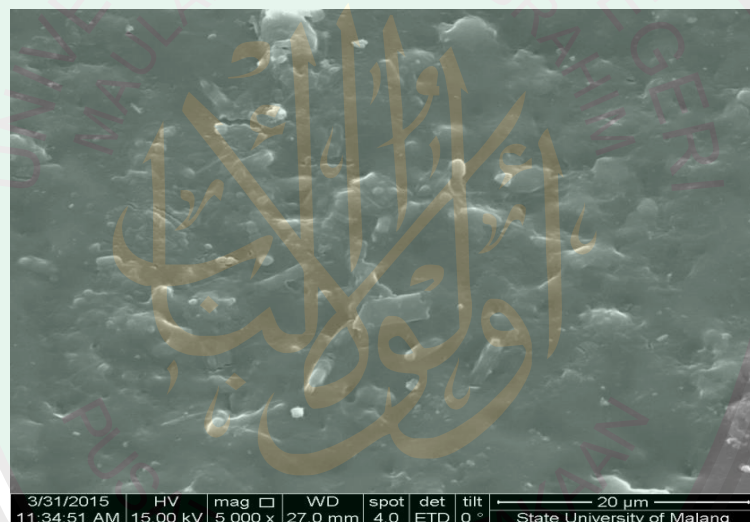


Gambar 4.3 Persentase penurunan jumlah koloni bakteri *Staphylococcus epidermidis*

Pada gambar 4.3 menunjukkan bahwa titik minimum untuk penurunan persentase jumlah bakteri *Staphylococcus epidermidis* terjadi pada intensitas cahaya 0 mW/cm² dengan suhu lingkungan 30 °C sebesar 30,7%, sedangkan titik maksimum penurunan jumlah bakteri *Staphylococcus epidermidis* terjadi pada intensitas cahaya 60 mW/cm² dan suhu lingkungan 60 °C, dimana persentase penurunan jumlah koloni sebesar 88.3%. Hal ini menunjukkan bahwa semakin besar intensitas dan suhu lingkungan maka persentase penurunan jumlah bakteri

Staphylococcus epidermidis semakin tinggi, yang artinya semakin besar intensitas dan suhu yang diberikan maka jumlah koloni yang masih aktif semakin sedikit.

Analisa selanjutnya yaitu menganalisa hasil *Scanning Electron Microscope* (SEM) dari biofilm bakteri *Staphylococcus epidermidis* yang melekat pada kateter. *Scanning Electron Microscope* (SEM) dilakukan untuk melihat biofilm dari bakteri *Staphylococcus epidermidis* yang menempel pada kateter. Hasil dari SEM bakteri *Staphylococcus epidermidis* yang diinkubasi selama 6 hari ditunjukkan gambar 4.4

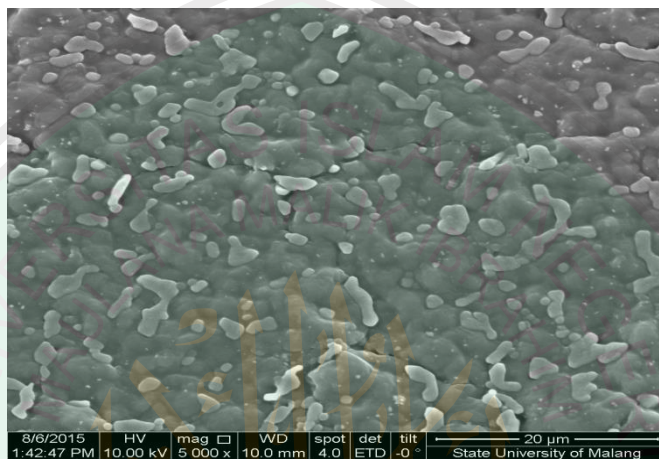


Gambar 4.4 Citra SEM biofilm *Staphylococcus epidermidis* yang terbentuk selama 6 hari dengan skala perbesaran 5000 kali

Gambar 4.4 menunjukkan bahwa pada bakteri *Staphylococcus epidermidis* yang diinkubasi selama 6 hari sudah membentuk beberapa lapis sel biofilm (multilayers) pada substrat. Pembentukan multilayer terjadi karena peningkatan jumlah sel biofilm bakteri *Staphylococcus epidermidis* yang dipengaruhi oleh zat polimer. Polimer ini biasanya terdiri dari senyawa polisakarida. Setelah terbentuk senyawa polisakarida, sel bakteri akan menempel pada substrat dan saling merekatkan satu sama lain. Beberapa bakteri akan melakukan perpindahan untuk

membentuk biofilm yang baru, sehingga semakin lama jumlah biofilm akan semakin banyak dan membesar.

Gambar hasil SEM setelah pemaparan sinar laser dengan intensitas 60 mW/cm² pada suhu 60 °C selama 30 menit ditunjukkan pada gambar 4.5



Gambar 4.5 Citra SEM setelah pemapran dengan intensitas 60 mW/cm² pada suhu 60 °C selama 30 menit dengan perbesaran 5000 kali

Pada gambar 4.5 menunjukkan bahwa pada bakteri *Staphylococcus epidermidis* yang membentuk biofilm setelah diberi paparan sinar laser dengan intensitas 60 mW/cm² pada suhu 60 °C dalam jangka waktu 30 menit mengalami kerusakan sel. Namun tidak semua bakteri terkena paparan sinar laser, karena sinar laser dengan intensitas cahaya yang kecil tidak mampu menembus ke dalam substrat (kateter) tersebut, sehingga hanya bakteri yang menempel di bagian permukaan substrat terkena paparan cahaya laser. Cahaya (foton) akan diserap oleh elektron-elektron yang terdapat pada sel bakteri. Elektron yang telah menyerap cahaya akan mengalami proses fotokimia, dimana dalam proses fotokimia tersebut membrane sel akan rusak. Kerusakan sel ini disebabkan karena adanya penurunan aktivitas enzim.

4.2.2 Analisis Menggunakan Anova

Pengujian selanjutnya yaitu pengujian dengan menggunakan uji *anova*. Pengujian ini digunakan untuk mengetahui bagaimana efek paparan sinar laser terhadap Bakteri *Staphylococcus epidermidis* dengan intensitas 0 mw/cm², 30 mw/cm², 35 mw/cm², 60 mw/cm² dan suhu 30 °C, 40 °C, 50 °C, 60 °C . Berdasarkan uji *Anova* didapatkan hasil sebagai berikut.

Tabel 4.3 Data Faktor Antar Subject

		Value Label	N
intensitas cahaya	1	0 mW/cm2	12
	2	15 mW/cm2	12
	3	35 mW/cm2	12
	4	60 mW/cm2	12
suhu lingkungan	1	30 C	12
	2	40 C	12
	3	50 C	12
	4	60 C	12

Tabel 4.4 Uji *Anova*

Dependent Variable: jumlah bakteri

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Model	3898.450 ^a	16	243.653	78.204	.000
intensitas	105.321	3	35.107	11.268	.000
suhu	713.136	3	237.712	76.297	.000
intensitas * suhu	9.594	9	1.066	.342	.954
Error	99.700	32	3.116		
Total	3998.150	48			

a. R Squared = .975 (Adjusted R Squared = .963)

Dari hasil uji *Anova* pada tabel 4.4 pada Bakteri *Staphylococcus epidermidis* setelah diberi paparan sinar laser, diperoleh nilai yang signifikan (*p-value*) pada variabel intensitas dan suhu lingkungan yaitu $p = 0.00 < \alpha (0.05)$. Hal ini menunjukkan bahwa H_0 ditolak. Maka dari itu, dapat disimpulkan bahwa paparan sinar laser dengan variasi intensitas dan suhu lingkungan berpengaruh

dalam menghambat pertumbuhan bakteri yang membentuk biofilm. Sedangkan interaksi intensitas dan waktu yaitu $p = 0.954 > \alpha (0.05)$, hal tersebut menunjukkan bahwa H_0 diterima yang berarti tidak ada pengaruh interaksi intensitas cahaya dengan suhu lingkungan. Setelah itu, akan dilakukan uji *Duncan* untuk mengetahui perbedaan rata-rata antar variasi.

1. Analisis Uji *Duncan* dengan Variasi Intensitas Cahaya

Tabel 4.5 Uji *Duncan* dengan Variasi Intensitas Cahaya

Duncan			
intensitas cahaya	N	Subset	
		1	2
60 mW/cm ²	12	5.9583	
35 mW/cm ²	12	7.3167	
15 mW/cm ²	12		8.8833
0 mW/cm ²	12		9.8333
Sig.		.069	.197

Berdasarkan uji *Duncan* pada antar masing-masing intensitas cahaya pada tabel 4.5 didapatkan hasil bahwa intensitas pada saat 35 mW/cm² tidak berbeda signifikan dengan intensitas 60 mW/cm², sehingga dapat disimpulkan bahwa intensitas cahaya yang paling efektif dalam menurunkan jumlah bakteri adalah saat intensitas cahaya 35 mW/cm² dengan hasil 7.3167.

2. Analisis Uji *Duncan* dengan Variasi Suhu

Tabel 4.6 Uji *Duncan* dengan Variasi Suhu

Duncan					
suhu lingkungan	N	Subset			
		1	2	3	4
60 C	12	4.1333			
50 C	12		5.8583		
40 C	12			7.6917	
30 C	12				14.3083
Sig.		1.000	1.000	1.000	1.000

Berdasarkan uji *Duncan* pada antar masing-masing suhu pada tabel 4.6 didapatkan hasil bahwa suhu yang paling efektif dalam menghambat pertumbuhan bakteri adalah 60 °C dengan hasil 4.1333. Hal ini menunjukkan bahwa semakin besar suhu lingkungan yang diberikan maka hasilnya akan semakin maksimal. Dan dapat disimpulkan bahwa pemberian suhu pada lingkungan berpengaruh nyata dalam menghambat pertumbuhan bakteri *Staphylococcus epidermidis*.

4.3 Pembahasan

Biofilm merupakan suatu lapisan tipis bakteri yang menempel pada permukaan matriks yang lembab dan lengket seperti mukosa dan alat-alat yang dipasang di dalam tubuh (*implant*) yang menyebabkan bakteri resisten terhadap proses fagositosis sel darah putih dan efek antibiotika (Donlan, 2002). Proses terbentuknya biofilm melalui beberapa proses. Fase pertama, perlengketan awal dari sel terhadap permukaan alat. Ketika bakteri mulai menempel pada suatu permukaan benda padat di dalam media cair kemudian bakteri tersebut menghasilkan zat polimer yang kental dan lengket ke luar sel. Zat polimer inilah yang membuat bakteri dapat menempel kuat pada permukaan benda padat dan saling merekatkan diri satu sama lain. Fase kedua, produksi dari pada *EPS* (*extracellular polymeric substance*). Fase ketiga, pertumbuhan awal dari arsitektur biofilm. Fase keempat, sel bakteri akan melakukan pembelahan (reproduksi) untuk memperbanyak jumlah biofilm dan mempertebal komposisi biofilm. Fase kelima, menunjukkan penyebaran dari sel biofilm. Beberapa bakteri akan melakukan perpindahan untuk membentuk biofilm yang baru, sehingga lama-kelamaan jumlah biofilm akan semakin banyak dan membesar. Beberapa

penelitian terdahulu juga menunjukkan bahwa jika mikroba dapat membentuk biofilm pada proses pertumbuhannya, daya tahan terhadap kondisi-kondisi buruk lebih tinggi jika dibandingkan dengan pertumbuhannya sebagai sel planktonik (Donlan, 2002).

Analisa deskriptif menunjukkan bahwa ada hubungan antara intensitas paparan sinar laser terhadap jumlah koloni bakteri. Hal ini terbukti dengan semakin besar intensitas yang dipaparkan semakin sedikit jumlah koloni yang masih aktif. Begitu pula pengaruh perubahan suhu lingkungan terhadap jumlah koloni bakteri. Semakin besar suhu yang diberikan maka jumlah koloni bakteri yang masih aktif semakin sedikit, yang artinya semakin sedikit jumlah koloni bakteri maka persentase penurunannya semakin besar dengan meningkatnya intensitas pemaparan dan suhu lingkungan. Hasil uji *Two Way Anova* juga menunjukkan bahwa faktor intensitas cahaya dan suhu lingkungan berpengaruh terhadap penurunan jumlah koloni bakteri *Staphylococcus epidermidis* yang membentuk biofilm dengan nilai $p = 0.00 < \alpha (0.05)$. Semakin besar suhu lingkungan dan intensitas cahaya yang dipaparkan, maka jumlah koloni bakteri semakin berkurang, dimana jumlah bakteri *Staphylococcus epidermidis* sebelum diberi paparan sinar laser jumlah koloni sebesar 23.1×10^8 CFU/ml dan setelah terpapar sinar laser dengan intensitas 60 mW/cm^2 pada suhu 60°C jumlah koloninya menjadi 2.7×10^8 CFU/ml

Intensitas cahaya merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi dalam penonaktifan biofilm bakteri *Staphylococcus epidermidis*. Penonaktifan biofilm bakteri *Staphylococcus epidermidis* dapat meningkat dengan peningkatan intensitas

sinar laser, dimana intensitas cahaya dan suhu lingkungan yang optimum dalam menghambat pertumbuhan bakteri yaitu pada intensitas cahaya 60 mW/cm^2 dan suhu lingkungan 60°C dengan persentase penurunan jumlah bakteri sebesar 88,3%. Penelitian (Suryani, 2011) menunjukkan bahwa persentase penurunan jumlah koloni bakteri *Staphylococcus aureus* sebesar 75,07% dengan intensitas pemaparan LED 75 mW/cm^2 . Hasil ini menunjukkan bahwa pemaparan sinar laser dengan intensitas 60 mW/cm^2 lebih efektif dalam menghambat pertumbuhan bakteri sedangkan dari hasil uji *Duncan* intensitas cahaya yang paling efektif adalah pada saat intensitas 35 mW/cm^2 . Namun pada penelitian ini tidak semua bakteri terkena paparan sinar laser hanya bagian permukaan dari kateter yang terkena paparan sehingga masih ada bakteri yang masih aktif di dalamnya. Hal ini disebabkan karena panjang gelombang 405 nm tidak sepenuhnya diserap oleh bakteri *Staphylococcus epidermidis*.

Setiap bakteri memiliki sel dan setiap sel terdapat molekul atom di dalamnya. Begitu pula bakteri *Staphylococcus epidermidis*. Ketika sel bakteri *Staphylococcus epidermidis* berinteraksi dengan sinar laser maka energi dari sinar tersebut diabsorpsi oleh elektron-elektron pada molekul sel bakteri tersebut sehingga elektron-elektron pada kondisi stabil akan mengalami peningkatan, kemudian menyebabkan elektron tereksitasi. Apabila keadaan ini terus berlangsung dengan energi cahaya (foton) yang tinggi, maka dapat mengakibatkan sel menjadi rusak. Karena dengan energi cahaya yang tinggi, sel-sel tersebut akan mengalami reaksi fotokimia dan akan mengakibatkan kerusakan pada vitamin vital dari bakteri *Staphylococcus epidermidis*. Proses fotokimia pada molekul sel

bakteri terjadi ketika molekul yang tereksitasi secara optis bereaksi secara langsung dengan substrat seperti membran sel atau molekul, dan mentransfer sebuah proton atau elektron membentuk anion atau kation radikal. Radikal ini akan bereaksi dengan oksigen menghasilkan oksigenreaktif (ROS). Superoksida anion yang terbentuk akan bereaksi dengan substrat menghasilkan hidrogen peroksida (H_2O_2). Pada konsentrasi tinggi hidrogen peroksida bereaksi dengan superoksida anion membentuk hidroksil radikal (reaksi Haber Weiss) yang dengan mudah berdifusi melalui membran dan merusak sel (Suryani, 2011).

Faktor lain yang mempengaruhi dalam menghambat biofilm bakteri *Staphylococcus epidermidis* adalah suhu. Penghambatan pertumbuhan biofilm bakteri dapat meningkat dengan peningkatan suhu lingkungan. Pada suhu lingkungan $60^{\circ}C$ dengan intensitas cahaya 60 mW/cm^2 , jumlah koloni yang masih aktif sebesar 2.7×10^8 CFU/ml dengan persentase penurunan jumlah bakteri sebesar 88,3%. Penelitian (Yusnita,dkk. 2014) menunjukkan pada suhu lingkungan $50^{\circ}C$ persentase penurunan jumlah bakteri sebesar 30,3%. Hal ini menunjukkan bahwa paparan sinar laser dengan suhu lingkungan $60^{\circ}C$ lebih efektif dalam penghambatan pertumbuhan biofilm bakteri.

Setiap mikroba termasuk bakteri mempunyai suhu optimum, maksimum dan minimum untuk pertumbuhannya. Bakteri *Staphylococcus epidermidis* merupakan mikroorganisme yang tumbuh cepat pada kisaran suhu $20^{\circ}C$ - $50^{\circ}C$. Apabila suhu lingkungan lebih kecil dari suhu minimum atau lebih besar dari suhu maksimum pertumbuhannya maka aktivitas enzim di dalam sel bakteri *Staphylococcus epidermidis* akan terhenti bahkan akan terjadi denaturasi enzim

(Sari, 2012). Denaturasi termasuk perubahan struktural akibat rusaknya ikatan kimia. Kerusakan ikatan kimia akan mengakibatkan kerusakan sel. Mekanisme kerusakan sel terlebih dahulu mengalami proses nekrosis diawali dengan kerusakan membran yakni proses pelepasan membran sel. Tingkat keparahan kerusakan membran ini juga merusak lisosom sehingga membuat organel pencernaan tersebut mengeluarkan enzimnya ke dalam cairan sel (sitoplasma), sehingga seluruh organel dan komponen sel akan pecah menjadi pigmen-pigmen kecil dan selanjutnya akan mengalami fagositosis (Clark, 2009).

Apabila keadaan ini terus berlangsung seiring dengan peningkatan energi cahaya (foton) dan suhu lingkungan akan mempengaruhi terhadap kelangsungan hidup sel, karena semakin tinggi intensitas dan suhu maka molekul atau atom yang tereksitasi semakin banyak, dan akan menyebabkan kerusakan terhadap sel akibat proses fotokimia. Selain mengalami proses fotokimia bakteri juga akan mengalami denaturasi protein yang akan mengakibatkan kerusakan pada vilamen sel bakteri *Staphylococcus epidermidis*. Hal ini membuktikan bahwa sinar laser dan suhu lingkungan yang tinggi mampu dalam menonaktifkan biofilm bakteri *Staphylococcus epidermidis*.

4.4 Sterilisasi Dalam Pandangan al-Quran dan Hadits

Segala sesuatu yang diciptakan oleh Allah SWT sebenarnya mengandung makna tersendiri dan tentunya sudah memiliki ukuran dan semuanya tidak akan sia-sia. Seperti dalam firman Allah SWT dalam surat Ali-Imran (3): 191

الَّذِينَ يَذْكُرُونَ اللَّهَ قِيَمًا وَقُعُودًا وَعَلَىٰ جُنُوبِهِمْ وَيَتَفَكَّرُونَ فِي خَلْقِ السَّمَوَاتِ
وَالْأَرْضِ رَبَّنَا مَا خَلَقْتَ هَذَا بَطْلًا سُبْحَنَكَ فَقِنَا عَذَابَ النَّارِ ﴿١٩١﴾

“(yaitu) orang-orang yang mengingat Allah SWT sambil berdiri atau duduk atau dalam keadaan berbaring dan mereka memikirkan tentang penciptaan langit dan bumi (seraya berkata): “Ya Tuhan kami, tiadalah Engkau menciptakan Ini dengan sia-sia, Maha Suci Engkau, Maka peliharalah kami dari siksa neraka” (Q.S Ali-Imran (3): 191).

Ayat di atas menjelaskan bahwa semua yang diciptakan Allah SWT tidak akan sia-sia. Indikasi ini berdasarkan dari kata *ما خلقت هذا بطلا* (tiadalah Engkau menciptakan ini dengan sia-sia). Makna kata tersebut adalah bahwa Allah SWT tidak menciptakan penciptaan ini dengan sia-sia dan senda-gurau, dan Allah SWT tidak menciptakannya kecuali karena perkara besar seperti Allah SWT telah menciptakan makhluk hidup dengan berbagai macam jenisnya, mulai dari makhluk hidup makroskopis hingga makhluk hidup yang mikroskopis, seperti bakteri (ath-Thabari, 2008).

Bakteri adalah mikroorganisme bersel tunggal tidak terlihat oleh mata, berukuran antara 0,5-10 μm dan lebar 0,5-2,5 μm tergantung pada jenisnya. Organisme ini tidak memiliki selaput inti, tidak memiliki plastid khusus yaitu zat warna pada membran, tidak memiliki organel berselaput, mitokondria, lisosom, badan golgi dan retikulum endoplasma (RE), nucleus, dan nukleoplasma (Wildan Yatim dan Aryani, 1987).

Bakteri ada yang bersifat menguntungkan dan merugikan. Dampak positif bakteri diantara dapat menyuburkan tanah dengan menghasilkan nitrat, pengurai sisa makhluk hidup dengan pembusukan, fermentasi dalam pembuatan makanan

dan minuman, dan di sisi lain dampak negatif dari bakteri ini adalah merusak tanaman dengan serangan yang merugikan, menyebabkan penyakit bagi makhluk hidup termasuk manusia. Salah satu penyakit yang disebabkan oleh bakteri adalah penyakit nosokomial yang disebabkan oleh bakteri *Staphylococcus epidermidis*.

Nosokomial adalah penyakit yang disebabkan oleh mikroba patogen dan bersifat sangat dinamis. Infeksi nosokomial meliputi infeksi saluran kemih, infeksi luka operasi atau infeksi daerah operasi, Pneumonia nosokomial (*Ventilator-associated pneumonia* (VAP)), Sinusitis dan infeksi saluran cerna lainnya (Karsinah, 1993). Nosokomial disebabkan oleh pemakaian kateter dalam waktu lama dan tidak diganti-ganti, serta benda dan bahan-bahan yang tidak steril. Islam menganjurkan untuk menjaga kebersihan (sterilisasi) agar terhindar dari berbagai penyakit.

Sebagaimana firman-Nya dalam surat Muddatstsir (74): 4-5.

وَتِيَابَكَ فَطَهِّرْ ۖ وَالرُّجْزَ فَاهْجُرْ ۝

“Dan pakaianmu bersihkanlah, Dan perbuatan dosa tinggalkanlah.” (al-Muddatstsir (74): 4-5)

Dan juga sudah dalam hadits Rasulullah SAW:

قال رسول الله صلى الله عليه وسلم: الطهور شطر الإيمان. (رواه مسلم)

“Rasulullah shallallahu`alaihi wa sallam bersabda: Bersuci sebagian dari iman.” (HR. Muslim).

Indikasi dari surat al-Muddatstsir dan hadist Rasulullah SAW di atas menjelaskan bahwa Allah SWT dan Rasul-Nya menganjurkan kepada manusia agar senantiasa menjaga kebersihan (sterilisasi). Indikasi ini berdasarkan dari kata *طهر* dan *الطهور* yang memiliki makna (bersih atau kebersihan). Kebersihan tidak

hanya kebersihan lahir dan batin, tetapi juga mencakup kebersihan alat-alat medis. Kebersihan alat-alat medis biasanya disebut sterilisasi. Kebersihan (sterilisasi) alat-alat medis juga sangat penting. Karena apabila tidak steril, alat-alat tersebut menimbulkan berbagai penyakit bagi para pasien di rumah sakit. Sterilisasi dapat menggunakan paparan sinar laser dan penambahan suhu. Laser merupakan salah satu sumber yang menghasilkan energi.

Pada penelitian ini menggunakan paparan sinar laser dengan intensitas dan suhu lingkungan yang bervariasi. Seperti yang dijelaskan diatas bahwa laser menghasilkan elektron-elektron yang mampu berinteraksi dengan membrane sel bakteri. Interaksi cahaya sinar laser dengan bakteri yaitu cahaya yang dipancarkan akan mengenai bakteri, dimana cahaya yang mengenai bakteri tersebut akan diabsorpsi dan selanjutnya sel bakteri akan mengalami eksitasi sehingga bakteri yang terpapar cahaya, akan menghasilkan dua macam keadaan tereksitasi yaitu keadaan singlet dan triplet, dan bakteri tersebut akan mengalami proses fotokimia. Selain pemaparan sinar laser, penambahan suhu (panas) lingkungan pada bakteri mampu mengurangi jumlah koloni bakteri, karena pada suhu lingkungan yang optimum mampu menurunkan aktivitas enzim bakteri sehingga bakteri akan mengalami proses denaturasi protein yang akan mematikan sel bakteri. Dari hasil penelitian menunjukkan bahwa laser mampu dalam menghambat pertumbuhan biofilm dari bakteri *Staphylococcus epidermidis*, dimana jumlah bakteri *Staphylococcus epidermidis* sebelum diberi paparan sinar laser jumlah koloni sebesar 23.1×10^8 CFU/ml dan setelah terpapar sinar laser dengan intensitas 60 mW/cm^2 pada suhu 60°C jumlah koloninya menjadi 2.7×10^8 CFU/ml dan

persentase penurunan jumlah bakteri sebesar 88,3%, sehingga dapat disimpulkan bahwa pemaparan sinar laser dengan intensitas tinggi dan pada suhu lingkungan yang tinggi berpengaruh terhadap penonaktifan biofilm bakteri *Staphylococcus epidermidis*.



BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dengan pemaparan sinar laser dengan variasi intensitas cahaya dan suhu lingkungan dalam penonaktifan biofilm dari bakteri *Staphylococcus epidermidis* maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Intensitas cahaya dapat mengurangi jumlah bakteri *Staphylococcus epidermidis* yang membentuk biofilm. Hal ini dapat diketahui pada intensitas cahaya 0 mW/cm² dalam suhu lingkungan 60 °C jumlah bakteri yang aktif sebesar $5,7 \times 10^8$ CFU/ml dengan persentase penurunan jumlah bakteri sebesar 75,3%, dan pada intensitas cahaya 60 mW/cm² dengan suhu lingkungan 60 °C persentase penurunan jumlah bakteri menjadi 88,3%. Namun dari hasil uji Duncan menunjukkan intensitas cahaya yang paling efektif dalam penonaktifan biofilm bakteri *Staphylococcus epidermidis* adalah 35 mw/cm² dengan nilai subset (7,3167).
2. Suhu lingkungan juga mempengaruhi terhadap jumlah bakteri *Staphylococcus epidermidis*. Pada suhu lingkungan 60 °C ini dihasilkan nilai subset paling rendah pada data *Duncan* yaitu (4,1333), pada suhu lingkungan 50 °C pada data *Duncan* diperoleh nilai subset (5,8583), pada suhu lingkungan 40 °C nilai subset (7,6917) dan pada suhu lingkungan 30 °C nilai subset (14,3083). Dari data diatas diketahui

bahwa waktu yang paling efektif dalam menghambat pembiakan bakteri *Staphylococcus epidermidis* yaitu pada suhu 60 °C.

3. Titik minimum penurunan persentase jumlah bakteri *Staphylococcus epidermidis* terjadi pada intensitas cahaya 0 mW/cm² pada suhu lingkungan 30 °C sebesar 30,7%, sedangkan titik maksimum penurunan jumlah bakteri *Staphylococcus epidermidis* terjadi pada intensitas cahaya 60 mW/cm² dengan suhu lingkungan 60 °C sebesar 88.3%.

5.2 Saran

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

1. Diperlukan penelitian lebih lanjut terhadap penonaktifan biofilm bakteri *Staphylococcus epidermidis* dengan intensitas yang lebih tinggi sehingga tidak ada bakteri yang tumbuh kembali.
2. Diperlukan penelitian lebih lanjut terhadap bakteri patogen yang lain
3. Diperlukan adanya pembuatan rancang alat sterilisasi dengan menggunakan sinar laser

DAFTAR PUSTAKA

- Anwer . Ayad G dan Anssam S. Husien. 2007. *Combination Effect of Laser, Antibiotics and Different Temperature on Locally Isolated Pseudomonas aeruginosa*. Vol. 6, pp. 21-30 . Baghdad: University of Baghdad
- Astuti, Suryani D dkk. 2011. *Potensi Blue Light Emitting Diode LED untuk Fotoinaktivasi Bakteri Staphylococcus Aureus dengan Forfirin Endogen*. JBP Vol. 13, No. 3 September 2011. Surabaya: Universitas Airlangga
- Buche, Frederick J. 1989. *Theory And Problem of College Physics*, 8th Edition/Frederick Bueche Schaum Series. Jakarta: Erlangga
- Bukhari, Muhammad. 2004. Staphylococcus epidermidis. Diakses pada tanggal 20 Januari 2015. Available from: <http://web.uconn.edu.html>
- Campbell, dkk. 2002. *Biologi edisi kelima jilid 1*. Jakarta: Erlangga
- Costerton JW, Stewart PS. 2001. *Battling Biofilm*. Scientific America: 61-67
- Cowan MM, WarrenTM, Fletcher. 1991. *Mixed species colononization of solid*
- Darmadi. 2008. *Infeksi Nosokomial: Problematika dan pengendaliannya*. Jakarta: Salemba Medika
- Dian, Rike. 2013. *Mikrobiologi*. Diakses pada tanggal 20 Januari 2015. Available from: <http://rikedianhusada.blogspot.co.id>
- Donlan RM. 2002. *Biofilms: Microbial life in surfaces*. Available from: <http://www.medscape.com/viewarticle/441355>
- Donlan RM. 2002. *Biofilms: Survival Mechanisms of Clinically Relevant Microorganisms*. Available from: <http://www.cdc.gov/ncidod/eid/voll5no2/donlan.htm>
- Dr. Eng. Supriyanto, M.Sc. 2007. *Perambatan Gelombang Elektromagnetik*. Departemen Fisika-FMIPA: Universitas Indonesia
- El-Naggar, Zaghoul. 2010. *Selekta dari Tafsir Ayat-Ayat Kosmos dalam Al-Qur'an Al-Karim Jilid 1*. Kairo: Shorouk International Bookshop
- Fauziah, Siti. 2012. *Pola Bakteri Dan Resistensinya Terhadap Antibiotik Yang Ditemukan Pada Air Dan Udara Ruang Instalasi Rawat Khusus Rsup Dr. Wahidin Sudirohusodo Makassar*. Skripsi S1. Fakultas MIPA. Universitas Islam Makassar. Makassar

- Fawaid, Mohammad. 2014. *Potensi Sinar Laser Untuk Penonaktifan Biofilm Dari Bakteri Pseudomona aeruginosa*. Skripsi S1. Fakultas Siantek. UIN Maulana Malik Ibrahim. Malang
- G.J, Tortora. 2010. *Microbiology An Introduction: 10th Edition Cell Stucture*. USA: Benjamin Cummings
- Habash M, Reid.G (1999), *Microbial Biofilms: Their Development and Significance for Medical Device-Related Infections*. Available from: <http://jb.asm.org/cgi/content/full/39/5/887>
- Harefa, Sofyan P.A. 2011. *Analnsis Perbandinagan Model Propagarasi untuk Komonikasi Bergerak pada Sistem GSM 900*. Medan: Departemen Teknik Elektro Fakulas Teknik USU. Diakses tanggal 11 desember 2014. Available online at: <http://repository.usu.ac.id/handle/123456789/30784>.
- Isaacs, Alan. 1997. *Kamus Lengkap Fisika*. Jakarta : Erlangga
- Jawetz, E., J.L. Melnick., E.A . Adelberg., G.F. Brooks., J.S . Butel., dan L.N. Ornston. 1995. *Mikrobiologi Kedokteran. Edisi ke20 (Alih bahasa: Nugroho & R.F.Maulany)*. Jakarta: Penerbit Buku Kedokteran EGC. hal. 211,213,215
- Jay, J. M. 2000. *Modern Food Microbiology*. New York: Chapman and Hall
- J. C. P.Heggie, N.A. Liddell, K.P Maher. 1997. *Applied Imaging Technology*, 3rd Edition, st. Vincent`s Hospitel-Melbourne
- Khopkar, S.M. 2003. *Konsep Dasar Kimia Analitik*. Jakarta: Universitas Indonesia
- Litaay, Gabriela Welma. 2013. *Kemampuan Pseudomonas Aurogenosa dalam Menurunkan Kandungan Fosfat Limbah Cair Ruah Sakit*. Skripsi. Yogyakarta: Universitas Atma Jaya.
- Al-Maraghi, Ahmad Musthofa. 1992. *Terjemah Tafsir al-Maraghi*. Semarang: CV. Toha Putra
- Muslim, Choirul., Hawa, La Choviya., Argo, Dwi bambang. 2013. *Pasteurisasi Non-Termal Pada Susu Sapi Segar untuk Inaktivasi Bakteri Staphylococcus aureus Berbasis Pulse Electric Field (PEF)*. Malang: Universitas Brawijaya
- Nurwani. 2010. diakses pada tanggal 22 Desember 2014. Available from: <http://www.slideshare.net/nurwani/gelombang-elektromagnetik>.
- Rashid T, Ebringer A. 2006. *Ankylosing spondylitis is linked to Klebsiella-the evidence (Epub ahead of print)*. Clin Rheumatol. PMID 17196116

- Rahman, Safriani. 2010. *Praktikum Anatomi dan Fisiologi Manusia*. Diakses pada tanggal 20 Januari 2015. Available from: <http://biofarmasiumi.wordpress.com>
- Schaechter, M., G Medoff, B. I. Eisenstein. 1993. *Mechanisms of Microbial Disease 2nd Edition*. London: Williams and Wilkins
- Serway, Remond A dan John W. Jewett, Jr. 2010. *Fisika untuk Sains dan Teknik Buku 2 Edisi 6*. Penerjemah Chriswan Sungkono. Jakarta: Salemba Teknika
- Setiono, Wiwing. S.Kep.NS. 2014. *Infeksi Nosokomial*. Diakses Pada Tanggal 24 Desember 2014. Available from: <http://lpkeperawatan.blogspot.com>
- Sinto dan Ariyadi T. 2009. *Pengaruh Sinar Ultraviolet terhadap Pertumbuhan Bakteri Bacillus SP sebagai Bakteri Kontaminan*. Jurnal Kesehatan. Universitas Muhammadiyah Semarang
- Steck. Daniel A. 2008. *Classical And Modern Optics*. Department of Physic University of Oregon
- Tafsir Ath-Thabari. Abu Ja'far Muhammad bin Jarir ath-Thabari. 2008. *Tafsir ath-Thabari*. Jakarta: Pustaka Azzam
- Trikusumaagani, 2009. *Pasien ICU banyak ter-kena Infeksi, (monograph on the Internet)*. Diakses 8 Desember 2014. Available from: <http:///D:Nosokomial/pasienICUbanyakterkenainfeksi-htm>
- Utomo, Pramudi dkk. 2008. *Teknik Telekomunikasi Jilid 1*. Jakarta: Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan
- Yusnita, dkk. 2014. *Pengendalian Sel Biofilm Bakteri Patogen Oportunistik Dengan Panas Dan Klorin*. Fakultas MIPA. Universitas Sumatra Utara

LAMPIRAN



LAMPIRAN 1 Data Hasil Koloni Bakteri *Staphylococcus epidermidis*

Intensitas (mW/cm ²)	Suhu (°C)	Jumlah Bakteri (CFU/ml)			Rata-rata
		Ulangan I	Ulangan II	Ulangan III	
-	-	25.0 x10 ⁸	23.0 x10 ⁸	21.2 x10 ⁸	23.1 x10 ⁸
0	30	13.7 x10 ⁸	16.8 x10 ⁸	17.1 x10 ⁸	16.0x10 ⁸
	40	9.6 x10 ⁸	10.5 x10 ⁸	9.1 x10 ⁸	9.7x10 ⁸
	50	8.2 x10 ⁸	8.5 x10 ⁸	7.4 x10 ⁸	8.0x10 ⁸
	60	5.6 x10 ⁸	7.0 x10 ⁸	4.5 x10 ⁸	5.7x10 ⁸
15	30	17.2 x10 ⁸	15.3 x10 ⁸	13.0 x10 ⁸	15.2x 10 ⁸
	40	11.6 x10 ⁸	8.2 x10 ⁸	7.2 x10 ⁸	9.0 x 10 ⁸
	50	5.9 x10 ⁸	6.8 x10 ⁸	6.7 x10 ⁸	6.5 x 10 ⁸
	60	5.0 x10 ⁸	5.2 x10 ⁸	4.5 x10 ⁸	4.9 x 10 ⁸
35	30	15.2 x10 ⁸	17.3 x10 ⁸	11.6 x10 ⁸	14.7 x10 ⁸
	40	7.7 x10 ⁸	6.8 x10 ⁸	5.0 x10 ⁸	6.5 x 10 ⁸
	50	5.7 x10 ⁸	4.0 x10 ⁸	4.7 x10 ⁸	4.8 x 10 ⁸
	60	3.6 x10 ⁸	3.3 x10 ⁸	2.9 x10 ⁸	3.3 x 10 ⁸
60	30	16.8 x10 ⁸	9.9 x10 ⁸	7.8 x10 ⁸	11.5 x10 ⁸
	40	6.1 x10 ⁸	5.5 x10 ⁸	5.0 x10 ⁸	5.7 x 10 ⁸
	50	4.7 x10 ⁸	3.8 x10 ⁸	3.9 x10 ⁸	3.9 x 10 ⁸
	60	2.8 x10 ⁸	2.7 x10 ⁸	2.5 x10 ⁸	2.7 x 10 ⁸

LAMPIRAN 2 Foto Alat Dan Bahan Penelitian



Media NA (*Nutrient Agar*)



Media NB (*Nutrient Broth*)



Kateter



Aquadest



Autoklaf



Inkubator



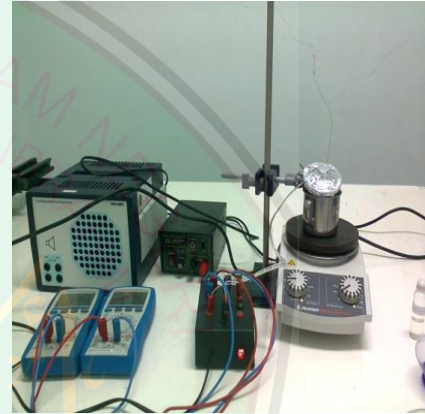
Vortex



Coloni Counter



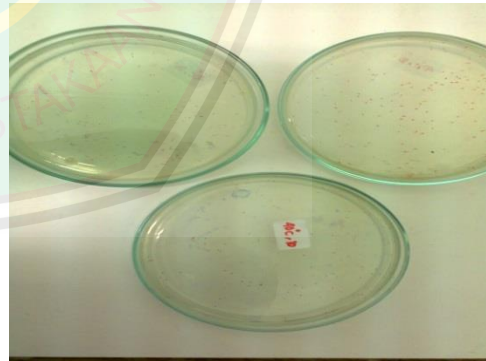
Biofilm Bakteri *Staphylococcus epidermidis*



Pemaparan



Prose Pengenceran



Koloni Bakteri



**KEMENTERIAN AGAMA RI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI (UIN)
MAULANA MALIK IBRAHIM MALANG
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI**

Jl. Gajayana No. 50 Dinoyo Malang (0341) 551345 Fax. (0341) 572533

BUKTI KONSULTASI SKRIPSI

Nama : Yusro Ahamdiyah
NIM : 11640016
Fakultas/ Jurusan : Sains dan Teknologi/ Fisika
Judul Skripsi : Optimasi Laser Dioda 405 nm Untuk Penonaktifan Biofilm Bakteri *Staphylococcus epidermidis*
Pembimbing I : Drs. M. Tirono, M.Si
Pembimbing II : Umaiatus Syarifah, M.A

No	Tanggal	HAL	Tanda Tangan
1	01 Desember 2014	Konsultasi Bab I, II, III	
2	27 Februari 2015	ACC Bab I, II, III	
3	02 Juni 2015	Konsultasi Data Hasil	
4	11 Agustus 2015	Konsultasi Data Hasil	
5	13 Agustus 2015	Konsultasi Bab IV	
6	01 Oktober 2015	Konsultasi Kajian Agama	
7	19 Oktober 2015	ACC Bab IV	
8	20 Oktober 2015	ACC Kajian Agama	
9	21 Oktober 2015	Konsultasi Keseluruhan	
10	21 Oktober 2015	ACC Keseluruhan	

Malang, 9 Nopember 2015
Mengetahui,
Ketua Jurusan Fisika,

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