

Skripsi

**OPTIMALISASI ENERGI CAHAYA LED MERAH DAN BIRU DALAM
MENGAKTIVASI FOTOSENSITISER NANOPERAK UNTUK APLIKASI
FOTODINAMIK INAKTIVASI**

PRYANDI M. TABAIKA

H021 20 1066



**DEPARTEMEN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN AL AM
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR**

2023

**OPTIMALISASI ENERGI CAHAYA LED MERAH DAN BIRU DALAM
MENGAKTIVASI FOTOSENSITISER NANOPERAK UNTUK APLIKASI
FOTODINAMIK INAKTIVASI**

SKRIPSI

*Diajukan sebagai Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Sains
pada Program Studi Fisika Departemen Fisika
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Hasanuddin*

PRYANDI M. TABAIKA

H021 20 1066

DEPARTEMEN FISIKA

FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM

UNIVERSITAS HASANUDDIN

MAKASSAR

2023

LEMBAR PENGESAHAN

**OPTIMALISASI ENERGI CAHAYA LED MERAH DAN BIRU DALAM
MENGAKTIVASI FOTOSENSITISER NANOPERAK UNTUK APLIKASI
FOTODINAMIK INAKTIVASI**

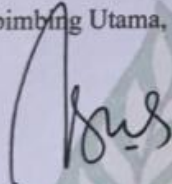
Disusun dan diajukan oleh:

**PRYANDI M. TABAIKA
H021 20 1066**

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Hasanuddin pada tanggal 21 November 2023 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

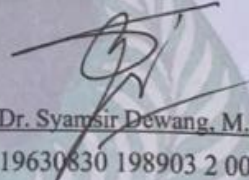
Menyetujui

Pembimbing Utama,



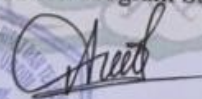
Dr. Sri Dewi Astuti Ilyas, S.Si., M.Si
NIP. 19750513 199903 2 001

Pembimbing Pendamping,



Prof. Dr. Syamsir Dewang, M.Eng.Sc., F.Med
NIP. 19630830 198903 2 001

Ketua Program Studi,



Prof. Dr. Arifin, MT
NIP. 19670520 199403 1 002



PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Pryandi M. Tabaika

NIM : H021201066

Program Studi : Fisika

Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul


**Optimalisasi Energi Cahaya LED Merah dan Biru dalam Mengaktivasi
Fotosensitiser Nanoperak untuk Aplikasi Fotodinamik Inaktivasi**

Adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambilan alihan tulisan orang lain bahwa skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau seluruh skripsi ini hasil karya orang lain maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Makassar, 21 November 2023

Yang Menyatakan,


Pryandi M. Tabaika

ABSTRAK

Fotodinamik Inaktivasi merupakan suatu teknik untuk menghambat pertumbuhan biofilm mikroba dengan menghasilkan Reactive Oxygen Species (ROS). Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis potensi cahaya LED merah dan biru dalam mengaktifkan nanopartikel perak (AgNPs) untuk menghasilkan ROS dalam jumlah signifikan yang diyakini bersifat toksik dan mematikan sel biofilm *Candida albicans*. Efektivitas pengobatan dalam penelitian ini dinilai melalui viabilitas sel yang diwakili oleh nilai *Optical Density* (OD) dan kadar *malondialdehyde* (MDA). Terdapat empat kelompok perlakuan utama yang dijadikan sampel, yaitu kelompok kontrol (C-), kelompok fotosensitizer (C+), kelompok cahaya (L_x), dan kelompok kombinasi cahaya dengan fotosensitizer (CL_x). Durasi paparan cahaya berkisar antara 2 hingga 10 menit dengan daya 100 mW. Metode pewarnaan biofilm menggunakan uji XTT untuk nilai viabilitas sel dan metode *Thiobarbituric Acid Reactive Substances* (TBARS) untuk kadar *malondialdehyde* (MDA). Hasil penelitian menunjukkan bahwa fotoinaktivasi biofilm *Candida albicans* dengan viabilitas terendah terjadi pada kelompok CL_{B5} sebesar $0,076 \pm 0,005$ dan kelompok CL_{M5} sebesar $0,131 \pm 0,021$. Data ini menghasilkan tingkat inaktivasi sebesar $94,65 \pm 0,55\%$ untuk LED biru dan $90,90 \pm 0,02\%$ untuk LED merah. Kadar MDA sebesar 1,847 nmol/mL untuk cahaya biru kombinasi AgNPs dan 1,804 nmol/mL untuk cahaya merah dengan AgNPs. Kombinasi spektrum LED biru dengan AgNPs sangat efektif dalam menonaktifkan aktivitas metabolisme sel mikroba patogen.

Kata Kunci: Nanopartikel perak; LED merah-biru; biofilm *Candida albicans*; fotoinaktivasi.

ABSTRACT

Photodynamic Inactivation is a technique to inhibit the growth of microbial biofilms by producing Reactive Oxygen Species (ROS). This research aims to analyze the potential of red and blue LED light in activating silver nanoparticles (AgNPs) to produce significant amounts of ROS which are believed to be toxic and deadly to *Candida albicans* biofilm cells. The effectiveness of treatment in this study was assessed through cell viability as represented by Optical Density (OD) values and malondialdehyde (MDA) levels. There were four main treatment groups used as samples, namely the control group (C-), the photosensitizer group (C+), the light group (Lx), and the combination group of light and photosensitizer (CLx). The duration of light exposure ranged from 2 to 10 minutes with a power of 100 mW. The biofilm staining method uses the XTT test for cell viability values and the Thiobarbituric Acid Reactive Substances (TBARS) method for malondialdehyde (MDA) levels. The results showed that photoinactivation of *Candida albicans* biofilms with the lowest viability occurred in the CLB5 group at 0.076 ± 0.005 and the CLM5 group at 0.131 ± 0.021 . This data produces an inactivation rate of $94.65 \pm 0.55\%$ for blue light and $90.90 \pm 0.02\%$ for red light. MDA levels were 1,847 nmol/mL for blue light and 1,804 nmol/mL for red light. The combination of the blue LED spectrum with AgNPs is very effective in inactivating the metabolic activity of pathogenic microbial cells.

Keywords: Silver nanoparticles, red-blue LED, *Candida albicans* biofilm, photoinactivation.

KATA PENGANTAR



Assalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.

Dengan penuh syukur, penulis mengucapkan rasa terima kasih kepada Allah SWT atas limpahan rahmat dan petunjuk-Nya. Tak lupa, sholawat dan salam semoga selalu tercurahkan kepada junjungan kita, Nabi Muhammad SAW, beserta para keluarga, sahabat, dan pengikutnya, serta kepada seluruh umat Islam.

Dengan rahmat dan hidayah-Nya yang begitu besar, penulis berhasil menyelesaikan penyusunan skripsi dengan judul "**Optimalisasi Energi Cahaya LED Merah Dan Biru Dalam Mengaktivasi Fotosensitizer Nanoperak Untuk Aplikasi Fotodinamik Inaktivasi**" sebagai salah satu persyaratan untuk menyelesaikan gelar sarjana di Departemen Fisika, Program Studi Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Hasanuddin.

Penulis sadar bahwa dalam perjalanan penulisan skripsi ini, banyak tantangan yang dihadapi. Namun, berkat bimbingan, bantuan, dan kerjasama dari berbagai pihak, penulis berhasil mengatasi berbagai kendala tersebut. Oleh karena itu, penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih yang mendalam kepada kedua orang tua tercinta, yaitu Bapak **Mochtar Tabaika, S.Pd** dan Ibu **Elyati Makmun**, yang selalu memberikan perhatian, kasih sayang, semangat, serta dukungan dalam setiap langkah penulis menjalani proses penyusunan skripsi ini. Penulis juga ingin mengucapkan terima kasih kepada saudari terkasih, **Sri Hartini M. Tabaika, SE**, My Uncle and My Aunte, yaitu Bapak **Arman Makmun** dan Ibu **Hartini Muslimah**, yang selalu memberikan dukungan, doa dan perhatian selama perjalanan penulis menempuh perkuliahan S1.

Penulis juga ingin menyampaikan ucapan terima kasih sebanyak-banyaknya kepada:

1. Saya ingin mengucapkan terima kasih kepada **Dr. Sri Dewi Astuty Ilyas, M.Si**, yang telah memberikan bimbingan yang luar biasa selama proses skripsi dan lebih dari sekadar bimbingan akademik. Beliau selalu siap mendengar keluh kesah saya, menjadikan pengalaman kuliah saya lebih bermakna, dan menciptakan atmosfer yang nyaman. Saya merasa beruntung memiliki figur seperti beliau di kampus ini. Bagi saya, beliau bukan

- hanya dosen pembimbing, tetapi juga seperti sosok ibu yang selalu mendukung dan menginspirasi. Terima kasih banyak Bu, atas semua yang telah Ibu berikan kepada saya.
2. Bapak **Prof Dr. Syamsir Dewang, M.Eng.Sc** juga selaku pembimbing kedua dan kepala laboratorium Optik dan Spektroskopi yang telah membimbing penulisan hingga terselesaikan Skripsi ini .
 3. Bapak **Bannu, S.Si., M.Si** dan **Prof. Dr. Paulus Lobo Gareso, M.Sc** selaku penguji yang telah memberikan masukan dan saran saran yang sangat luar biasa sampai bisa terselesaikan penulisan skripsi ini.
 4. Bapak **Prof. Dr. Arifin, M.T** selaku Ketua Departemen serta **Bapak dan ibu Dosen Pengajar Departemen Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Hasanuddin**, terima kasih atas ilmu dan bimbingan yang telah diberikan kepada penulis. Semoga Allah SWT membalas semua kebaikan yang telah dilakukan.
 5. Ibu **Prof. Dr. Nurlela Rauf, M.Sc** dan **Prof Sri Suryani DEA**, terima kasih untuk gift, saran, dan motivasi yang selalu diberikan kepada penulis sehingga semakin semangat penulis bertahan untuk menyelesaikan perkuliahan tepat pada waktunya.
 6. Ibu **Risnawati Sadali, S.Pd**, selaku guru fisika penulis ketika dibangku SMA. Beliau menjadi salahseorang yang membuat penulis mencintai fisika sepenuh hati. Ibu **Aminah, S.Pd** selaku wali kelas penulis waktu SMA yang mau membantu penulis dalam hal pengurusan berkas untuk bisa menyelesaikan ujian sarjana Fisika. Terima kasih kepada dua orang hebat ini, semoga ini bisa menjadi ladang pahala.
 7. Bapak/Ibu **Staf Pegawai FMIPA UNHAS**, terutama **staf Departemen Fisika; Pak Syukur, Ibu Rana, Ibu Evi** yang selalu membantu penulis selama berada di kampus.
 8. Terima kasih kepada teman-teman kecil Penulis: **Markona, Made, Ningo, Lalapo, Caken, Panong, dan Wingki**, yang dengan penuh kesabaran telah mendengarkan keluh kesah penulis melalui Aplikasi selama perjalanan perkuliahan hingga akhirnya menyelesaikan skripsi ini. Kalian adalah kilas cerah dalam perjalanan yang penuh tantangan ini.
 9. Pemilik NIM Angkatan 2020 (050, 030, 014, 077, 047, 015, 019, 011, dan 072), terima kasih sudah mau bantu penulis dari berbagai hal hingga penulis bisa menyelesaikan skripsi ini. Selesainya penulis dalam menyelesaikan perkuliahan ini tidak lepas dari bantuan kalian yg selalu ada dan mau menampung penulis di laboratorium teori dan material serta rumahnya.

10. Saudara-saudariku, **Himafi 2020**, terima kasih telah membuat kenangan bersama, terima kasih atas semua semangat dan hiburan yang telah kita lewati bersama selama ini. Terkhusus buat yang selalu ada ketika HPF, Love you semua.
11. Teman-teman KKN Posko 20 (**Ifha, Nunskey, Ferary, Putet, dan Asdar sastra jepang**), terima kasih untuk pengertiannya selama ber-KKN, sudah mau temani penulisan dipanyingkulu sampai larut malam untuk menyelesaikan paper untuk skripsi.
12. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu, namun selalu berkontribusi sehingga skripsi ini dapat terselaikan dengan baik.
13. Terakhir, terima kasih sebesar-besarnya kepada **Pryandi M. Tabaika**, yang telah bertahan dan berjuang keras hingga berhasil menyelesaikan skripsi ini. Perjalanan ini mungkin tidak selalu mudah, tetapi kamu telah membuktikan bahwa kegigihan dan ketekunan adalah kunci untuk meraih impian. Selamat, Pryandi! Menyelesaikan skripsi bukanlah hal yang mudah, tetapi kamu telah membuktikan bahwa kamu mampu mengatasi semua itu. Semua kerja kerasmu layak diapresiasi. Mari lanjutkan perjalanan ini dengan kepercayaan diri yang tinggi, karena kamu pantas mendapatkan kesuksesan di masa depan.

DAFTAR ISI

<i>SAMPUL</i>	1
LEMBAR PENGESAHAN	iii
PERNYATAAN KEASLIAN	iv
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vi
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI	x
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL	xiii
BAB I PENDAHULUAN	1
I.1 Latar Belakang	1
I.2 Rumusan Masalah	3
I.3 Tujuan Penelitian	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	4
II.1 <i>Photodynamic Teraphy</i> (PDT) dan <i>Photodynamic Inactivation</i> (PDI)	4
II.2 Mekanisme Fotodinamik Inaktivasi	4
II.3 Dosimetri Fotodinamik Inaktivasi	5
II.4 Sumber Cahaya	6
II.5 Fotosensitizer AgNPs	7
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	8
III.1 Waktu dan Tempat Penelitian	8
III.2 Alat dan Bahan	8
III.2.1 Alat	8
III.2.1 Bahan	8
III.3 Prosedur Penelitian	8
III.3.1 Pembuatan Biofilm <i>Candida Albicans</i>	8
III.3.2 Sintesis Silver Nanopartikel	9
III.3.3 Karakterisasi Nanoperak	9
III.3.4 Perhitungan Energi Penyinaran	10

III.3.5 Perlakuan PDI	10
III.3.6 Uji XTT dan MDA.....	11
III.4 Bagan Alir Penelitian	12
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	13
IV.1 Karakteristik Spektrum UV-Vis <i>Silver Nanoparticle</i> (AgNPs).....	13
IV.2 Karakteristik Sumber Cahaya LED dan Penentuan Energi Penyinaran.....	14
IV.3 Hasil Perlakuan Inaktivasi	16
IV.3.1 Hasil Pengukuran Viabilitas biofilm	16
IV.2.2 Uji kadar MDA setelah fotoinaktivasi.....	21
BAB V PENUTUP	26
V.1 Kesimpulan	26
V.2 Saran	26
DAFTAR PUSTKA	27
Lampiran	31

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Modifikasi Diagram Jablonsky untuk mekanisme PDI	5
Gambar 3.1 Prosedur pembuatan biofilm <i>Candida albicans</i>	9
Gambar 3.2 Desain kelompok perlakuan dengan kode perlakuan	10
Gambar 3.3 Bagan Alir Penelitian	12
Gambar 4.1 Spektrum Absorbansi Silver nanoparticle (AgNPs)	13
Gambar 4.2 (a) Stabilitas Keluaran Daya LED Merah	14
Gambar 4.2 (b) Stabilitas Keluaran Daya LED Biru	14
Gambar 4.3 (a) Diagram batang perubahan nilai OD sampel hasil fotoinaktivasi biofilm candida albicans Menggunakan LED biru	18
Gambar 4.3 (b) Diagram batang perubahan nilai OD sampel hasil fotoinaktivasi biofilm candida albicans Menggunakan LED Merah	18
Gambar 4.4 Grafik perubahan nilai OD sampel hasil perlakuan fotoinaktivasi menggunakan Fotosensitizer dengan LED merah dan biru	19
Gambar 4.5 Histogram persentasi Inhibition hasil perlakuan fotoinaktivasi AgNPs dengan LED Merah dan biru terhadap biofilm candida albicans	20
Gambar 4.6 Kurva Standar MDA dengan TEP Sebagai standar senyawa malodialdehyde	22
Gambar 4.7 (a) Sampel Pengujian Kadar MDA menggunakan LED Biru	22
Gambar 4.7 (b) Sampel Pengujian Kadar MDA menggunakan LED Biru	22
Gambar 4.8 (a) Histogram kadar MDA sampel hasil perlakuan fotoinaktivasi biofilm candida albicans menggunakan LED biru	24
Gambar 4.8 (b) Histogram kadar MDA sampel hasil perlakuan fotoinaktivasi biofilm candida albicans menggunakan LED merah	24
Gambar 4.9 Histogram kadar MDA untuk perlakuan kombinasi PS dengan LED merah dan biru	24

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1 Pengukuran Intensitas, durasi penyinaran, dan rapat energi penyinaran .	15
Tabel 4.2 Nilai OD untuk setiap perlakuan	17
Tabel 4.3 Nilai Absorbansi dan nilai kadar MDA untuk semua perlakuan	23

BAB I

PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang

Pemanfaatan bidang biofotonika telah berkembang luas di dunia medis untuk pengobatan penyakit[1,2]. Salah satu pengaplikasian biofotonika dalam hal pengobatan penyakit adalah dengan menghambat pertumbuhan mikroba patogen yang dikenal dengan *Photodynamic Inaktivasi* (PDI)[3,4]. Di dunia kesehatan, istilah yang digunakan adalah *photodynamic therapy* (PDT) atau dalam konteks khusus yang berkaitan dengan mikroorganisme disebut sebagai *photodynamic inactivation* (PDI) atau *photoantimicrobial chemotherapy* (PACT)[5]. Mekanisme dari PDI menggunakan prinsip interaksi antara cahaya dengan materi. Ketika cahaya mengenai suatu materi, maka akan terjadi beberapa proses salah satunya adalah fotofisika, meliputi eksitasi elektron dan penyerapan (absorpsi)[6].

Mekanisme PDI terdiri dari tiga komponen utama yaitu cahaya, molekul *photosensitizer* (PS), dan oksigen[7,8]. Sumber cahaya yang digunakan dapat menentukan keberhasilan pada mekanisme PDI dengan cara menyesuaikan karakteristik berupa serapan maksimum dari molekul PS. Serapan maksimum pada panjang gelombang tertentu berarti PS menyerap banyak energi foton dan jika diasumsikan dapat memberikan peluang besar tereksitasinya elektron hingga ke tingkat triplet dan menghasilkan oksigen singlet[9,10].

Pemilihan PS dalam mekanisme PDI juga sangatlah penting. PS merupakan molekul yang peka terhadap cahaya sehingga ketika cahaya dikenai PS diharapkan dapat menghasilkan senyawa radikal yang dikenal dengan *reaktive oxygen species* (ROS). Senyawa ROS tersebut sangat reaktif dan beracun sehingga mampu mematikan sel-sel yang berkembang tidak normal atau sel yang mengalami pertumbuhan yang sangat cepat seperti mikroorganisme dan sel-sel kanker [11,12]. Terdapat beberapa PS organik yang biasa digunakan seperti klorofil, *methylene blue*, *toluidine blue*, *malachite green*, *allyl isothiocyanate* (AITC), dan *methanol extracts*[13,14]. Namun

PS organik memiliki ukuran mikro sehingga sulit mereduksi biofilm dikarenakan ukuran pori biofilm berkisar 50 nm sehingga PS organik kurang efektif untuk diaplikasikan dalam PDI [15,16]. Nanoperak (AgNPs) adalah salah satu bahan yang memiliki ukuran nano. Pada penelitian Agnieszka Gibala, dkk tahun 2021 menunjukkan bahwa nanoperak memiliki sifat antifungi dan antibakteri sehingga berpeluang dimanfaatkan untuk dijadikan agen fotosensitizer dalam mekanisme PDI[17].

Pemilihan cahaya juga merupakan salah satu faktor penting dalam PDI. Sumber cahaya yang paling umum digunakan dalam mekanisme PDI yaitu laser karena memiliki sifat monokromatik (satu Panjang gelombang). Namun luas lapangan untuk penyinaran laser sangatlah kecil karena bersifat koheren. Sehingga kurang efektif untuk menjangkau seluruh bagian permukaan target[18]. LED adalah salah satu sumber cahaya yang bersifat monokromatik dan tidak koheren karena lebar spektralnya dan divergensinya luas. LED juga memiliki keunggulan karena cukup murah, mudah dirakit, dan tidak menghasilkan efek termal sehingga sangat cocok digunakan dalam PDI[19].

Penelitian terkait *photodynamic Inactivation* sudah cukup berkembang. Salah satunya penelitian yang dilakukan oleh Astuty dkk.,2019 menggunakan laser diode dikombinasikan dengan Fotosensitizer dari klorofil daun pepaya menghasilkan efek reduksi maksimum setelah fotoinaktivasi hingga 32% (dengan klorofil) dan 23% (tanpa klorofil) untuk penanganan jamur *C. Albicans*[20]. Selanjutnya penelitian yang dilakukan oleh Astuti dyah dkk.,2018 Agen antijamur nanopartikel perak yang diaktifkan oleh laser dioda sebagai sumber cahaya untuk mengurangi biofilm *C. Albicans* menghasilkan reduksi biofilm sebesar $7,07 \pm 0,23\%$ untuk sampel tanpa AgNPs dibandingkan dengan sampel dengan AgNPs yang meningkatkan reduksi biofilm sebesar $64,48 \pm 0,07\%$ [16]. Kemudian pada tahun 2020 dilaporkan oleh Armin Mirfasihi dkk yang menggunakan PS chitosan pada PDI bakteri *Streptococcus mutans* dengan sumber cahaya laser pada panjang gelombang 660 nm pada daya 50 mW dengan jumlah kematian bakteri sebanyak 393,056 CFU/mL [21]

Berdasarkan penelitian sebelumnya. Penelitian ini berfokus melihat pengaruh energi LED Merah dan Biru dengan PS dari nanoperak dengan tabahan oksigenasi terhadap perubahan nilai *Optical Density* setelah diberikan perlakuan PDI jamur *C. Albicans* dengan metode *XTT assay* dan uji kadar *malondialdehyde* (MDA).

I.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana pengaruh energi cahaya LED merah dan biru dalam mengaktivasi nanoperak terhadap perubahan nilai *Optical Density* (OD) biofilm *Candida Albicans* setelah perlakuan fotodinamik Inaktivasi ?
2. Bagaimana pengaruh variasi lama paparan LED merah dan biru dengan nanoperak terhadap nilai MDA sel biofilm setelah perlakuan fotodinamik Inaktivasi sebagai indikator terbentuknya ROS?

I.3 Tujuan Penelitian

1. Menganalisis pengaruh energi cahaya LED merah dan biru dalam mengaktivasi nanoperak terhadap perubahan nilai *Optical Density* (OD) biofilm *Candida Albicans* setelah perlakuan fotodinamik Inaktivasi.
2. Menganalisis pembentukan senyawa ROS setelah diberikan perlakuan variasi lama paparan dalam mengaktivasi nanoprak berdasarkan nilai MDA.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

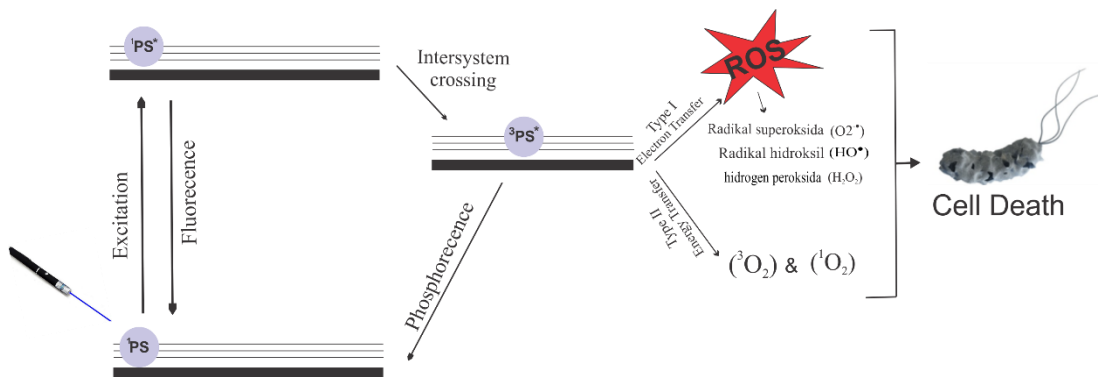
II.1 *Photodynamic Teraphy* (PDT) dan *Photodynamic Inactivation* (PDI)

Photodynamic Teraphy (PDT) merupakan metode terkini yang bersifat non-invasif dan awalnya digunakan untuk mengatasi tumor dan kanker. Namun, seiring dengan peningkatan resistensi terhadap obat-obatan dalam penanganan mikroba patogen, PDT telah disesuaikan untuk pengobatan penyakit yang disebabkan oleh mikroba patogen, seperti infeksi yang dikenal dengan *Photodynamic Inactivation* (PDI) [22,23]. Tujuan dari terapi ini adalah untuk menggunakan senyawa beracun yang dihasilkan melalui proses PDI untuk menghancurkan sel atau jaringan yang menjadi penyebab penyakit[23].

PDI didasarkan pada interaksi dinamis antara PS, cahaya dengan panjang gelombang tertentu, dan oksigen molekuler, yang mempromosikan penghancuran selektif jaringan target[24,25]. Ketika PS diaktifkan oleh cahaya yang sesuai, itu dapat menyebabkan pembentukan radikal bebas dan berbagai jenis ROS yang dapat merusak sel-sel hidup. Efek merusak ini bisa mengenai bagian sel, termasuk membran sel, dan akhirnya dapat menyebabkan sel mati[26].

II.2 Mekanisme Fotodinamik Inaktivasi

Komponen PDI terdiri dari tiga komponen utama fotosensitizer (PS), cahaya, dan oksigen molekuler (O_2)[27]. Fotosensitizer yang tidak beracun ini menyerap foton dengan panjang gelombang cahaya tertentu. Ketika fotosensitizer diaktifkan oleh cahaya dan mengalami reaksi kimia dengan oksigen, ini memicu pembentukan radikal bebas atau ROS seperti radikal hidroksil (OH^\bullet), hydrogen peroxide (H_2O_2), dan superoksida ($O_2^{\bullet-}$). Spesies oksigen reaktif (ROS) ini sangat beracun dan reaktif, menyebabkan kerusakan dan kematian sel dengan menyerang membran lipid, protein, asam nukleat, dan komponen sel lainnya[28]



Gambar 2.1 Modifikasi Diagram Jablonsky untuk mekanisme PDI (diagram Jablonsky[29], gambar mikroba mati[30], dan mekanisme PDI[31])

Gambar 2.1 Pada reaksi tipe I, setelah elektron dari molekul PS tereksitasi secara triplet, elektron dapat berbondong ke molekul oksigen yang berada di sekitar fotosensitizer dan menghasilkan senyawa ROS berupa radikal superoksida (O_2^{\bullet}), radikal hidroksil (HO^{\bullet}) dan hidrogen peroksida (H_2O_2). Sementara reaksi tipe II, energi yang berlebih pada elektron yang tereksitasi secara triplet dapat melepaskan ke senyawa oksigen yang ada di sekitar PS dan membuat oksigen tereksitasi secara singlet. Selanjutnya, senyawa ROS dan senyawa oksigen singlet dapat membuat kematian sel[32,33].

II.3 Dosimetri Fotodinamik Inaktivasi

Prinsip dalam PDI, kematian sel disebabkan karena produksi ROS yang dihasilkan. Produksi ROS dapat dipengaruhi oleh jumlah energi yang disuplai oleh cahaya ke molekul fotosensitizer. Semakin tinggi energi yang disalurkan oleh cahaya, semakin besar kemungkinan molekul fotosensitizer akan mengalami eksitasi triplet dan mengeluarkan energi tambahan melalui fosforesensi atau melalui pembentukan ROS[34].

Intensitas cahaya berdasarkan nilai absorbansi UV-Vis dari molekul Fotosensitizer dihitung dengan persamaan[35]:

$$\text{Abs} = \log \frac{1}{T} \tag{2.1}$$

$$T = 10^{-\text{Abs}} \tag{2.2}$$

$$\%(\text{serap}) = (1-T) \times 100\% \quad (2.3)$$

$$I_{\text{serap}} = \%(\text{serap}) \times I_{\text{cahaya}} \quad (2.4)$$

Menghitung rapat energi penyinaran dihitung dengan persamaan[35]:

$$E = I_{\text{serap}} \times t \quad (2.5)$$

Abs adalah absorbansi pada λ tertentu , T adalah Transmittansi, $\%(\text{serap})$ adalah persentasi foton cahaya yang diserap oleh fotosensitiser pada λ tertentu, I_{cahaya} adalah intensitas dari cahaya yang digunakan, I_{serap} adalah banyaknya intensitas yang diserap oleh molekul fotosensitiser jika disinari pada intensitas tertentu , t =durasi penyinaran (s), E = Rapat Energi penyinaran (J/cm^2 atau $\text{W.s}/\text{cm}^2$)[35].

II.4 Sumber Cahaya

Sumber cahaya dengan berbagai jenis telah dikembangkan untuk terapi fotodinamik. Sebagian besar prosedur PDI dilakukan pada panjang gelombang antara 600 hingga 850 nm, juga disebut sebagai "jendela terapeutik," di mana penetrasi cahaya dalam jaringan paling besar dan energi foton (>1.5 eV) cukup tinggi untuk menyebabkan fotoaktivasi. Karena PDI memerlukan cahaya intens dengan panjang gelombang yang lebih baik monokromatik seperti laser, tetapi kekurangannya dilaser adalah sinarnya yang tegak lurus sehingga kurang optimal pada kondisi permukaan target yang lebih luas. Selain Laser terdapat beberapa sumber cahaya yang biasanya digunakan dalam penelitian PDI seperti lampu dan *Light Emitting Diode* (LED)[25].

LED merupakan salah satu jenis perangkat semikonduktor yang digunakan dalam proses fotoinaktivasi sebagai sumber cahaya. Warna cahaya yang dipancarkan oleh LED bergantung pada jenis bahan dan kondisi semikonduktor yang digunakan. Meskipun prinsip dasar pembangkitan cahaya pada LED mirip dengan Laser Dioda, namun LED tidak memiliki rongga resonansi untuk emisi terstimulasi, sehingga cahaya yang dipancarkan bersifat spontan. Akibatnya, output cahaya dari LED tidak koheren karena lebar spektrumnya yang luas dan divergensi sinar yang besar, yang mengakibatkan efisiensi penyerapan yang lebih rendah oleh fotosensitizer. Secara umum, dibandingkan dengan laser diode, LED biasanya memiliki daya keluaran yang lebih rendah[25,36]

II.5 Fotosensitizer AgNPs

Perkembangan riset PDI bukan hanya efektivitasnya dalam membunuh mikroba patogen, tetapi modifikasi jenis dan karakteristik fotosensitizer menjadi perhatian khusus. Fotosensitizer dengan karakteristik Panjang gelombang serapan yang sesuai dengan sumber cahaya akan memaksimalkan peluang keberhasilan PDI. Fotosensitizer awalnya menggunakan jenis organik dan anorganik seperti metilen blue (MB), malachite green (MG), dan toluidine blue (TBO). Fotosensitizer generasi selanjutnya terus dikembangkan untuk dapat berpotensi kedalam jaringan target biofilm yaitu dengan mengembangkan AgNPs[14].

AgNPs bisa dihasilkan melalui berbagai cara yang berbeda, termasuk metode yang paling umum adalah dengan mengurangi garam perak menggunakan asam sitrat atau campuran asam sitrat/tannat asam melalui proses reduksi termal. Meskipun metode-metode ini sering digunakan dan relatif mudah secara teknis, mereka dapat menghasilkan AgNPs dengan ukuran, distribusi ukuran, dan bentuk yang berbeda-beda[37]

Partikel perak (AgNPs) telah menarik perhatian dan minat yang signifikan karena potensi aplikasinya dalam bidang biomedis serta perangkat antibakteri. Perak adalah agen antimikroba yang efektif dan dapat menghambat mikroorganisme patogen seperti virus, bakteri, jamur, dan mikroorganisme eukariotik dalam konsentrasi rendah. Rahisuddin dkk. menunjukkan efek antimikroba dan antijamur dari nanopartikel perak dalam konsentrasi rendah (mikrogram per mililiter)[16], [38]