

**PENGARUH ENERGI PENYERAPAN LASER HIJAU BERDASARKAN ENERGI
SERAPAN OPTIMUM EKSTRAK DAUN PEPAYA (*Carica papaya L.*)
TERHADAP KEMATIAN SEL *Candida albicans***



RISMAYANI ABDULLAH

H021 19 1082



Optimization Software:
www.balesio.com

**PROGRAM STUDI FISIKA
JLTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2024**

**PENGARUH ENERGI PENYERAPAN LASER HIJAU BERDASARKAN
ENERGI SERAPAN OPTIMUM EKSTRAK DAUN PEPAYA (*Carica papaya L.*)
TERHADAP KEMATIAN SEL *Candida albicans***

RISMAYANI ABDULLAH

H021191082



**DEPARTEMEN FISIKA
S MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS HASANUDDIN
2024**

Optimization Software:
www.balesio.com

**PENGARUH ENERGI PENYERAPAN LASER HIJAU BERDASARKAN
ENERGI SERAPAN OPTIMUM EKSTRAK DAUN PEPAYA (*Carica papaya L.*)
TERHADAP KEMATIAN SEL *Candida albicans***

RISMAYANI ABDULLAH

H021191082

Skripsi

sebagai salah satu syarat untuk mencapai gelar sarjana

Program Studi Fisika

pada



**PROGRAM STUDI FISIKA
DEPARTEMEN FISIKA
S MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS HASANUDDIN
2024**

SKRIPSI

**PENGARUH ENERGI PENYERAPAN LASER HIJAU BERDASARKAN
ENERGI SERAPAN OPTIMUM EKSTRAK DAUN PEPAYA (*Carica papaya L.*)
TERHADAP KEMATIAN SEL *Candida albicans***

RISMAYANI ABDULLAH

H021191082

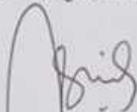
Skripsi,

telah dipertahankan di depan Panitia Ujian Sarjana Fisika pada 12 Agustus 2024 dan
dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan
pada

UNIVERSITAS HASANUDDIN
Program Studi Fisika
Departemen Fisika
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Hasanuddin
Makassar

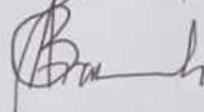
Menyetujui:

Pembimbing Utama,



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

Pembimbing Pendamping,



Prof. Dr. Ir. Bidavatul Aminah, M.T.
NIP 19630830 198903 2 001

Ketua Program Studi,



Prof. Dr. Anfin, M.T.
NIP 19670520 199403 1 002



PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI DAN PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa, skripsi berjudul "Pengaruh Energi Penyerapan Laser Hijau Berdasarkan Energi Serapan Optimum Ekstrak Daun Pepaya (*Carica papaya L.*) Terhadap Kematian Sel *Candida albicans*" adalah benar karya saya dengan arahan dari pembimbing (Dr. Sri Dewi Astuty, S.Si, M.Si sebagai Pembimbing Utama dan Prof. Dr. Ir. Bidayatul Arminah, MT. sebagai Pembimbing Pendamping). Karya ilmiah ini belum diajukan dan tidak sedang diajukan dalam bentuk apa pun kepada perguruan tinggi mana pun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka skripsi ini. Apabila di kemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan skripsi ini adalah karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut berdasarkan aturan yang berlaku.

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta (hak ekonomis) dari karya tulis saya berupa skripsi ini kepada Universitas Hasanuddin.

Makassar, 12 Agustus 2024



Rismayani Abdullah
NIM H021191082



Ucapan Terima Kasih

Bismillahirrahmanirrahim

Puji syukur kehadiran Allah subhanahu wa taala, tuhan semesta alam yang dengan rahmat dan kasih sayangnya, penulis dapat menyelesaikan skripsi ini. Shalawat serta salam semoga senantiasa tercurahkan kepada junjungan kita Nabi Muhammad Sallallahu alaihi wassalam, keluarga, sahabat, dan seluruh pengikutnya hingga akhir zaman. Semoga kita semua senantiasa mendapatkan syafaat beliau di hari kemudian.

Dengan penuh rasa syukur penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada kedua orang tua penulis, mama tercinta Patmawati dan bapak terkasih Abdullah atas segala doa, kasih sayang, dan dukungan yang tiada henti-hentinya. Kepada saudara penulis, kak Ridho dan Fahmi terima kasih untuk semua bantuan dan candaannya selama ini. Segala cinta, nasihat, dan pengorbanan yang diberika kepada penulis adalah fondasi yang kokoh bagi pencapaian ini. Semoga Allah subhanahu wata'ala membalas semua kebaikan kalian dengan pahala yang berlipat ganda dan kebahagiaan yang tiada batas.

Ucapan terima kasih juga penulis tujukan kepada:

1. Rektor Universitas Hasanuddin Prof. Dr. Ir. Jamaluddin Jompa, M. Sc. beserta jajarannya.
2. Bapak Dr. Eng. Amiruddin selaku dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Hasanuddin beserta jajarannya.
3. Bapak Prof. Dr. Arifin, M.T, selaku Ketua Departemen Fisika, serta Bapak Ibu dosen pengajar Departemen Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Hasanuddin. Terima kasih atas segala ilmu yang telah diberikan kepada penulis.
4. Ibu Dr. Sri Dewi Astuty, S.Si. M.Si selaku pembimbing utama dan Ibu Prof. Dr. Ir. Bidayatul Arminah, M.T selaku pembimbing pertama. Penulis haturkan terima kasih yang sedalam-dalamnya atas segala ilmu, waktu, kesabaran serta keikhlasan dalam membimbing dan memberikan arahan kepada penulis sehingga skripsi ini dapat terselesaikan.
5. Bapak Prof. Dr. rer-nat Wira Bahari Nurdin dan Bapak Bannu, S.Si, M.Si selaku tim penguji yang senantiasa memberikan kritik dan saran yang membangun dalam penyusunan skripsi ini.

pegawai FMIPA Unhas, terutama staf departemen Fisika; Pak a, Ibu Evi yang selalu membantu penulis selama berada di
 isterhood Atul dan Daya, terima kasih atas semua dukungan,
 dan nasihatnya selama ini. Terima kasih telah menjadi tempat
 selalu sabar dengan perubahan *mood* yang tiba-tiba, dan



merayakan setiap pencapaian kecil bersama sehingga penulis tidak pernah merasa sendiri dalam menjalani proses ini.

8. Teman-teman Fisika 2019, terkhusus teman-teman dari lab optik dan spektroskopi, terima kasih atas kebersamaannya selama penulis berada dibangku perkuliahan.
9. Teman-teman penelitian, Priyandi, Hajar, dan Kak Imel atas segala dukungan dan bantuannya selama proses penelitian hingga proses penyusunan skripsi ini.
10. Teman-teman Posko 1 KKN 108 Pinrang yang telah memberikan pengalaman terbaik dan tidak terlupakan kepada penulis dan terus memberikan semangat kepada penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.
11. Rismayani Abdullah, terima kasih sudah terus berjuang hingga sejauh ini, terima kasih telah percaya pada diri sendiri, terima kasih telah mampu melalui berbagai tantangan dan rintangan dengan penuh semangat. Semoga pencapaian ini menjadi motivasi untuk terus melangkah maju dan meraih impian-impian lainnya.

Penulis,

Rismayani Abdullah



Optimization Software:
www.balesio.com

ABSTRAK

RISMAYANI ABDULLAH. Pengaruh energi penyerapan laser hijau berdasarkan energi serapan optimum ekstrak daun pepaya (*Carica papaya L.*) terhadap kematian sel *Candida albicans* (dibimbing oleh Sri Dewi Astuty dan Bidayatul Arminah).

Latar belakang. Klorofil ekstrak daun pepaya telah dibuktikan potensial sebagai fotosensitizer (PS) melalui sifat antimikroba dan peyerap foton cahaya yang optimal dalam rentang panjang gelombang 405 – 680 nm. Aktivasi molekul klorofil dengan cahaya yang sesuai akan menghasilkan senyawa *Reactive Oxygen Spesies* (ROS) yang toksik terhadap mikroba patogen seperti *Candida albicans*. **Tujuan.** Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kemampuan *Photodynamic Inactivation* (PDI) sebagai antibakteri dengan menggunakan laser hijau dan ekstrak klorofil daun pepaya terhadap kematian sel *Candida albicans*. **Metode.** Kultur *Candida albicans* ditumbuhkan menjadi biofilm dan dibagi menjadi empat kelompok utama yaitu: kontrol negatif (tanpa perlakuan), kontrol positif (dengan penambahan klorofil), kelompok penyinaran (variasi paparan laser hijau selama 60, 120, 180, 240, dan 300 detik), serta kelompok PDI (laser dikombinasikan klorofil). **Hasil.** Penelitian menunjukkan bahwa semua kelompok perlakuan laser, klorofil maupun kombinasi keduanya terjadi penurunan aktivitas yang signifikan. Aktivasi maksimum terjadi pada kelompok perlakuan L₅F₁ dan L₅F₂ dengan inaktivasi keduanya masing-masing yaitu 80% dan 83%. **Kesimpulan.** Klorofil dari ekstrak daun pepaya dengan konsentrasi tinggi yang dikombinasikan dengan laser hijau memiliki efektivitas dalam menonaktifkan biofilm *Candida albicans*.

Kata kunci: klorofil ekstrak daun pepaya; laser hijau; *Candida albicans*; fotodinamik inaktivasi.



ABSTRACT

RISMAYANI ABDULLAH. **The effect of green laser energy absorption based on the optimum absorption energy of papaya leaf extract (*Carica papaya L.*) on *Candida albicans* cell death** (supervised by Sri Dewi Astuty and Bidayatul Arminah)

Background: Chlorophyll extract from papaya leaves (*Carica papaya L.*) has been proven to be a potential photosensitizer (PS) due to its antimicrobial properties and optimal photon absorption in the wavelength range of 405-680 nm. Activation of chlorophyll molecules with appropriate light will produce Reactive Oxygen Species (ROS) that are toxic to pathogenic microbes such as *Candida albicans*. **Aim:** This study aims to evaluate the antibacterial capability of Photodynamic Inactivation (PDI) using green laser and chlorophyll extract from papaya leaves on the cell death of *Candida albicans*. **Methods:** *Candida albicans* cultures were grown into biofilms and divided into four main groups: negative control (no treatment), positive control (with addition of chlorophyll), irradiation group (various green laser exposures for 60, 120, 180, 240, and 300 seconds), and PDI group (laser combined with chlorophyll). **Results:** The study showed that all treatment groups—laser, chlorophyll, and their combination—experienced a significant reduction in activity. Maximum activation occurred in the L5F1 and L5F2 treatment groups with inactivation rates of 80% and 83%, respectively. **Conclusion:** High-concentration chlorophyll extract from papaya leaves combined with green laser is effective in inactivating *Candida albicans* biofilm.

Keywords: chlorophyll of Papaya leaf extract; green laser; *Candida albicans*; photodynamic inactivation.



DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
PERNYATAAN PENGAJUAN.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI.....	iv
UCAPAN TERIMA KASIH	v
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
BAB I. PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar belakang	1
1.2. Tujuan penelitian.....	5
BAB II. METODOLOGI PENELITIAN	6
2.1. Waktu dan tempat.....	6
2.2 Alat dan bahan.....	6
2.2.1 Alat	6
2.2.2 Bahan	6
2.3 Prosedur kerja	6
Klorofil ekstrak daun pepaya	6
Analisa UV-Vis	7
Analisa metode zona bening.....	7
Analisa spektroskopi laser.....	8



2.3.5 Pembentukan biofilm pada <i>microplate</i>	8
2.3.6 Perlakuan terapi fotodinamik inaktivasi	8
2.3.7 Uji XTT assay	9
2.4. Bagan alir penelitian	11
BAB III. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	12
3.1. Identifikasi klorofil ekstrak daun pepaya	12
3.2. Karakteristik optis klorofil ekstrak daun pepaya.....	12
3.3. Uji zona bening	13
3.4. Stabilitas laser.....	14
3.5. Uji viabilitas sel biofilm	15
3.6. Analisis dan pembahasan.....	16
BAB IV. KESIMPULAN DAN SARAN	19
4.1. Kesimpulan	19
4.2. Saran.....	19
DAFTAR PUSTAKA.....	20
LAMPIRAN.....	24



DAFTAR TABEL

Nomor urut	Halaman
1. Kelompok perlakuan terapi fotodinamik.....	9
2. Energi perlakuan penyinaran	15
3. Nilai OD setiap kelompok perlakuan pada sel biofilm	15



DAFTAR GAMBAR

Nomor Urut	Halaman
1. Diagram Jablonski (Hu et al., 2018)	2
2. Proses ekstraksi daun pepaya	7
3. Proses uji toksisitas zona bening	7
4. Proses pembentukan biofilm pada <i>microplate</i>	8
5. Proses perlakuan fotodinamik inaktivasi	9
6. Bagan alir penelitian	11
7. Hasil kromatografi ekstrak daun pepaya (a) uji KLT (b)	12
8. Spektrum absorbansi klorofil ekstrak daun pepaya	13
9. Uji toksisitas dengan metode zona bening	14
10. Stabilitas daya keluaran laser	14
11. Grafik nilai OD kelompok perlakuan laser dan perlakuan laser kombinasi klorofil 10% dan 15%	16
12. Diagram tingkat persentase inaktivasi kelompok PDI	17



DAFTAR LAMPIRAN

Nomor urut	Halaman
1. Proses ekstraksi daun pepaya.....	24
2. Proses penumbuhan biofilm dan perlakuan fotoinaktivasi	24
3. Desain kelompok perlakuan pada <i>microplate</i>	25
4. Perhitungan tingkat inaktivasi	25
5. Data pengukuran spektrum klorofil ekstrak daun pepaya	26
6. Data uji stabilitas keluaran laser menggunakan daya 288 mW	27
7. Data hasil uji ANOVA.....	37



BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Pada tahun 1896, seorang fisikawan Denmark yaitu Niels Finsen mencoba menggunakan panas dan cahaya yang difilter melalui lampu karbon untuk mengobati penyakit lupus vulgaris (Gøtzsche, 2011). Metode terapi cahaya yang dikembangkan oleh Niels Finsen menjadi landasan untuk perkembangan lebih lanjut dibidang fototerapi, yang hingga saat ini fototerapi masih menjadi salah satu metode medis yang efektif digunakan dalam penanganan penyakit. Istilah modern untuk pengobatan fototerapi ini dikenal dengan *Photodynamic therapy* (PDT) (Mahmoudi et al., 2018) (Daniell & Hill, 1991).

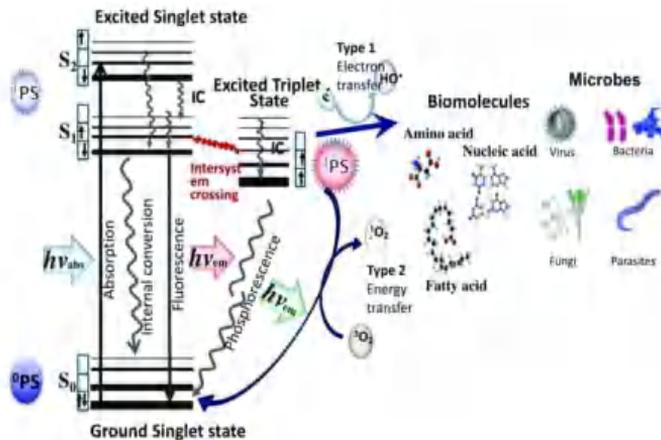
Seiring dengan munculnya berbagai jenis penyakit yang mengarah pada infeksi akibat terkontaminasi mikroorganisme patogen, pengobatan PDT terus dikembangkan yang terfokus untuk menangani masalah mikroorganisme dan diistilahkan dengan *Photodynamic Inactivation* (PDI) atau fotodinamik inaktivasi (Indrawati et al., 2021). Pada tahun 1900, seorang mahasiswa kedokteran Jerman, O. Raab, pertama kali melaporkan kematian sel yang disebabkan oleh interaksi cahaya dengan bahan kimia. Saat bekerja dengan Profesor H. von Tappeiner di Munich, dia menjelaskan efek mematikan kombinasi cahaya dan *acridine red* pada protozoa. Dalam percobaan selanjutnya, Raab menunjukkan bahwa efek mematikan ini lebih besar dibandingkan dengan *acridine red* saja, cahaya saja, atau *acridine red* yang terpapar cahaya dan kemudian ditambahkan protozoa. Dia melaporkan bahwa toksisitas terjadi akibat fluoresensi yang disebabkan oleh transfer energi dari cahaya ke bahan kimia (Bayram & Liu, 2017). Pada tahun 1904, H. von Tappeiner dan A. Jodlbauer mengidentifikasi bahwa oksigen merupakan komponen integral dalam reaksi fotosensitisasi, dan pada tahun 1907 mereka memperkenalkan istilah “aksi fotodinamik” untuk mendeskripsikan fenomena ini. Sejak itu, PDT terus berkembang dan aplikasi klinisnya diperluas ke area lain selain pengobatan tumor. Dr. M. Weber, yang dikenal sebagai pelopor terapi laser modern, juga menerapkan PDT untuk mengobati penyakit bakteri, virus, dan parasit, yang disebut sebagai PDT antimikroba atau fotoinaktivasi (Correia et al., 2021) (Uliana et al., 2022).

Fotoinaktivasi adalah suatu proses di mana mikroorganisme, seperti bakteri, virus dan jamur dihancurkan atau dinonaktifkan menggunakan cahaya. Mekanisme kerja fotoinaktivasi didasarkan pada pembentukan *Spesies Oksigen Reaktif* (ROS), termasuk oksigen singlet, yang memicu serangkaian reaksi oksidasi dalam sel mikroba. Molekul utama yang menjadi sasaran ROS adalah protein, membran sel

komponen dinding sel lainnya. Kerusakan akibat stress oksidatif diperbaiki dan akhirnya menyebabkan kematian sel. Efektivitas dipengaruhi oleh pemilihan struktur fotosensitizer yang sesuai, dan dosis cahayanya, sehingga ROS yang dibutuhkan dihasilkan tepat di tempat yang tepat dengan efisiensi yang cukup tinggi (Piksa et al., 2022) (Piksa et al., 2023).



Diagram Jablonski merupakan diagram yang menggambarkan perubahan elektron dalam molekul setelah berinteraksi dengan radiasi elektromagnetik, seperti cahaya. Diagram ini memperlihatkan tingkat energi elektron dalam molekul serta berbagai peristiwa yang mungkin terjadi setelah penyerapan energi. Diagram Jablonski ditunjukkan pada gambar 1.



Gambar 1 Diagram Jablonski (Hu et al., 2018)

Peristiwa pada diagram Jablonski diawali dengan penyerapan foton oleh molekul elektron yang berada pada *ground state* (S_0) menjadi tereksitasi ke keadaan yang lebih tinggi (S_1 - S_2). Eksitasi terjadi akibat elektron dalam molekul menerima lebih banyak energi dari foton yang diserap, sehingga menyebabkan elektron meloncat ke tingkat energi yang lebih tinggi. Peristiwa ini disebut dengan absorpsi yang ditunjukkan oleh panah hitam ke atas (Pereira Gonzales & Maisch, 2012).

Peristiwa absorpsi menyebabkan molekul elektron berada dalam keadaan yang tidak seimbang, sehingga elektron akan melepaskan energinya kembali ke keadaan *ground state* (S_0). Kelebihan energi kemudian dihamburkan sebagai panas oleh proses yang disebut sebagai konversi internal. Selanjutnya molekul kembali ke tingkat vibrasi dasar dari keadaan singlet tereksitasi pertama (S_1) yang disebut dengan relaksasi vibrasi (Jain et al., 2008).

Molekul yang berada dalam keadaan singlet tereksitasi Pertama (S_1) akan kembali ke keadaan dasar (S_0) dengan melepaskan energi berlebih dengan memancarkan cahaya. Proses ini berlangsung sangat singkat yaitu sekitar 1 nanosekon. Fluoresensi pada gambar 2.1 ditunjukkan oleh panah hitam ke bawah.

Peristiwa yang dilakukan oleh elektron yaitu dengan persilangan antar sistem. Elektron yang berada di S_1 dapat berpindah ke tingkat energi eksitasi yang lebih tinggi yaitu ke keadaan *triplet state* (T_1). *Intersystem crossing* (ISC) adalah proses yang menyebabkan perubahan bilangan kuantum dari singlet menjadi triplet. Proses ini berlangsung selama 10^{-10} s hingga 10^{-8} s. Cara terakhir yaitu fosforesensi. Setelah itu, elektron yang berada pada T_1 akan kembali ke keadaan dasar (S_0) dengan melepaskan energi dalam bentuk cahaya (Jain et al., 2008).



Sebagian besar mikroorganisme, baik di lingkungan maupun selama infeksi, berada dalam bentuk biofilm dan bukan sebagai sel planktonik. Sebagai penyebab utama infeksi mikroba pada manusia, biofilm merupakan masalah serius dalam pelayanan kesehatan. Genera *Candida*, terutama *Candida albicans* adalah salah satu spesies jamur yang menyebabkan infeksi mukosa superfisial serta mikosis. Mikroba ini dikenal sangat patogen karena sifat virulen dan resistansi pada biofilmnya yang memiliki kemampuan untuk menghasilkan biofilm pada hampir semua perangkat medis, saluran pencernaan, bronkus, saluran genital, dan kulit. Biofilm adalah komunitas mikroba terstruktur yang dicirikan oleh sel-sel sesil yang melekat pada suatu permukaan dan tertanam dalam matriks zat polimer ekstraseluler yang diproduksi oleh sel-sel itu sendiri. Pembentukan biofilm *Candida albicans* terdiri dari beberapa tahapan yaitu adhesi, inisiasi, maturasi, dan disperse (Jiang et al., 2020)(Talapko & Juzbaši, 2021).

Cahaya dalam PDI berperan dalam mengaktifkan molekul fotosensitizer hingga menginisiasi pembentukan ROS. Pemilihan sumber cahaya bergantung pada lokasi target, panjang gelombang serapan maksimum fotosensitizer, dan energi cahaya yang diperlukan. LASER (*Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*) menjadi salah satu sumber cahaya yang sering digunakan dalam proses PDI. Laser diode merupakan jenis laser yang umum digunakan karena lebih ringan, portable/mobile, stabil, dan lebih murah. Laser dioda dapat menghasilkan daya hingga 8 watt, sehingga baik digunakan untuk aplikasi medis PDI yang memerlukan daya tinggi. Adapun kisaran panjang gelombang laser dioda yang biasa digunakan dalam PDI adalah 415-690 nm (Kim & Darafsheh, 2020).

Fotosensitizer (PS) memiliki peran penting dalam reaksi fotodinamik sebagai penyerap energi cahaya. PS merupakan agen yang menghasilkan spesies oksigen reaktif beracun melalui iradiasi optik, dan dapat digunakan untuk menonaktifkan atau menghambat pertumbuhan sel akibat cahaya. PS yang digunakan untuk terapi fotodinamik harus memiliki karakteristik khusus yang membuatnya efektif dan aman untuk digunakan seperti, memiliki puncak serapan yang kuat di daerah spektral merah hingga mendekati inframerah, Tidak memiliki sifat toksisitas dalam kondisi gelap, memiliki selektivitas jaringan yang tinggi terhadap kematian sel, memiliki hasil kuantum triplet substansial yang mengarah ke produksi ROS yang baik setelah iradiasi, memiliki fotostabilitas yang tinggi dan sesuai, serta memiliki biaya produksi yang rendah (Jao et al., 2023) (Knap et al., 2018). Ribuan senyawa fotoaktif alami dan sintetik memiliki potensi sebagai fotosensitisasi. Beberapa fotosensitizer alami utama yang paling umum digunakan yaitu *Curcumin*, *riboflavin*, dan turunan klorofil (Jao et al., 2023). Ekstrak tumbuhan yang diperkaya dengan klorofil dapat digunakan

... karena klorofil merupakan senyawa utama tumbuhan yang ... p cahaya yang tinggi terutama pada cahaya tampak (Kubrak et

... akan pigmen hijau kompleks yang ditemukan pada tumbuhan, ... entu yang berperan penting dalam proses fotosintesis. Klorofil ... kompleks yang terdiri dari cincin porfirin dan ion magnesium.

... as untuk menyerap energi cahaya dan ion magnesium bertindak



sebagai akseptor elektron. Klorofil memiliki banyak bentuk seperti klorofil a, klorofil b, serta klorofil c. Pada tumbuhan tingkat tinggi ada beberapa jenis klorofil yang sering dijumpai yaitu klorofil a dan klorofil b dan merupakan pigmen utama fotosintesis yang berperan dalam menyerap cahaya (Martins et al., 2023). Klorofil a menyerap cahaya paling efisien di wilayah spektrum merah dan biru, dengan puncak serapan masing-masing sekitar 430 nm dan 662 nm. Sementara klorofil b menyerap cahaya pada wilayah spektrum hijau biru, dengan puncak serapan sekitar 453 nm (Polat & Kang, 2021).

Tumbuhan pepaya (*Carica papaya* L.) merupakan tanaman yang berasal dari daerah tropis. Tumbuhan pepaya memiliki klasifikasi sebagai berikut (Parle & Gurditta, 2011):

Kingdom : *Plantae*
Division : *Tracheophyta*
Kelas : *Magnoliopsida*
Ordo : *Brassicales*
Family : *Caricaceae*
Genus : *Carica* L.
Spesies : *Carica papaya* L.

Saat ini beberapa penelitian mencoba mengidentifikasi potensi fotosensitizer alami yang diisolasi dari ekstrak tanaman obat dan mengamati efektivitasnya setelah dikombinasikan dengan penggunaan cahaya, diantaranya pada penelitian Astuty et al., 2019 mengenai efektivitas PDI terhadap biofilm *Candida albicans* menggunakan PS klorofil daun pepaya dan sumber cahaya berupa Laser dioda dengan panjang gelombang 445 nm dan 650 nm dan intensitas sinar laser masing-masing 0,379 W/cm² dan 0,306 W/cm². Penelitian tersebut menghasilkan efek reduksi maksimum setelah fotoinaktivasi hingga 32% (dengan klorofil) dan 25% (tanpa klorofil) (Astuty et al., 2019). Penelitian lainnya oleh Buchovec et al., 2022 mengenai inaktivasi biofilm mikroba *A. baumannii* menggunakan PS riboflavin dan klorofilin. Sumber cahaya yang digunakan yaitu LED pada panjang gelombang 402 nm dan 440 nm. Penerapan PS riboflavin dan klorofilin pada PDT dengan dosis radiasi 84 J/cm² menghasilkan inaktivasi masing-masing 6,7log₁₀ and 5,7log₁₀ (Buchovec et al., 2023).

Berdasarkan penelitian di atas, penelitian ini difokuskan untuk melihat pengaruh energi penyerapan laser hijau berdasarkan energi serapan optimum klorofil ekstrak daun pepaya terhadap kematian sel *Candida albicans*. Klorofil ekstrak daun pepaya digunakan pada penelitian ini karena kemampuannya yang baik dalam menyerap cahaya, selain itu ekstrak daun pepaya juga mengandung senyawa lain sebagai anti mikroorganisme.



1.2. Tujuan Penelitian

1. Menentukan karakteristik klorofil ekstrak daun pepaya dan korelasinya dengan besar energi penyinaran laser hijau untuk inaktivasi.
2. Menentukan pengaruh energi penyinaran laser hijau terhadap nilai *optical density* sampel biofilm *Candida albicans* hasil perlakuan fotodinamik inaktivasi setelah pewarnaan XTT.
3. Menganalisis efektivitas perlakuan fotodinamik inaktivasi terhadap variasi energi penyinaran dan konsentrasi ekstrak daun pepaya.

