



- Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

KONJUGASI AuNPs DENGAN EKSTRAK KLOOROFIL *Spirulina platensis*

NOFAL ORTHESIN



PROGRAM STUDI BIOFISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2025



@Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



PERNYATAAN MENGENAI TESIS DAN SUMBER INFORMASI SERTA PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa tesis dengan judul “Konjugasi AuNPs dengan Ekstrak Klorofil *Spirulina platensis*” adalah karya saya dengan arahan dari dosen pembimbing dan belum 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 di bagian akhir tesis ini.

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta dari karya tulis saya kepada Institut Pertanian Bogor.

Bogor, Juli 2025

Nofal Orthesin
G7501212009

- Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



RINGKASAN

NOFAL ORTHESIN. Konjugasi AuNPs dengan Ekstrak Klorofil *Spirulina platensis*. Dibimbing oleh YESSIE WIDYA SARI, WULAN TRI WAHYUNI dan YULIATI HERBANI.

Photodynamic therapy (PDT) adalah metode terapi minimal invasif yang menggunakan cahaya dan fotosensitizer untuk menangani berbagai penyakit seperti jerawat, tumor, dan kanker. Klorofil dari *Spirulina platensis*, mikroalga yang banyak ditemukan di perairan Indonesia, berpotensi sebagai fotosensitizer alami karena bersifat biokompatibel dan memiliki spektrum serapan luas (400–800 nm). Upaya mengekstrak klorofil secara efisien, digunakan metode *low power microwave-assisted extraction* (LP-MAE) yang ramah biaya dan menghasilkan ekstrak berkualitas tinggi, terutama bila dipadukan dengan perancangan percobaan statistik *I-optimal*. Peningkatan efektivitas PDT dilakukan dengan mengkonjugasikan klorofil dengan nanopartikel emas (AuNPs) yang stabil, tidak beracun, dan memiliki serapan cahaya yang berdekatan, sehingga kombinasi ini diharapkan memperkuat efek destruktif terhadap sel kanker melalui mekanisme gabungan PDT dan *photothermal therapy* (PTT). Salah satu dari tujuan penelitian ini adalah mengevaluasi parameter-parameter pada proses ekstraksi klorofil *Spirulina platensis* dengan metode *low power microwave-assisted extraction* (LP-MAE) dilakukan untuk memperoleh *yield* klorofil yang optimal. Hasil penelitian menunjukkan bahwa proses ekstraksi diawali dengan pemodelan statistika desain *I-optimal* dan menghasilkan *yield* klorofil total tertinggi sebesar 5045,7 µg/g biomassa pada kondisi optimum, serta *yield* klorofil-a tertinggi sebesar 1590,2 µg/g biomassa. Pengujian stabilitas menunjukkan bahwa klorofil berpelarut aseton lebih stabil dibandingkan metanol dan etanol selama penyimpanan empat pekan. Sintesis AuNPs menghasilkan larutan berwarna merah anggur dengan puncak serapan UV-Vis pada 520,45 nm dengan mayoritas AuNPs berdiameter 13-14 nm. Konjugasi dilakukan terhadap sembilan sampel klorofil dari tiga jenis pelarut berbeda, dan hasil spektrum menunjukkan bahwa sampel A2N2, M2N2, dan E2N2 memiliki tiga puncak serapan yang jelas, menjadikannya kandidat yang potensial untuk uji lanjutan sebagai fotosensitizer dalam fototerapi.

Kata kunci: AuNPs, desain *I-optimal*, Klorofil, LP-MAE, *Spirulina platensis*

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang menggunakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

SUMMARY

NOFAL ORTHESIN. Conjugation of AuNPs with Chlorophyll Extract from *Spirulina platensis*. Supervised by YESSIE WIDYA SARI, WULAN TRI WAHYUNI and YULIATI HERBANI.

Photodynamic therapy (PDT) is a minimally invasive therapeutic approach that utilizes light and a photosensitizer to treat various diseases such as acne, tumors, and cancer. Chlorophyll derived from *Spirulina platensis*, a microalga widely found in Indonesian waters, has potential as a natural photosensitizer due to its biocompatibility and broad absorption spectrum (400–800 nm). To efficiently extract chlorophyll, the low power microwave-assisted extraction (LP-MAE) method was employed, which is cost-effective and produces high-quality extracts, especially when combined with a statistically designed I-optimal experiment. The effectiveness of PDT was enhanced by conjugating chlorophyll with gold nanoparticles (AuNPs), which are stable, non-toxic, and possess a light absorption range compatible with chlorophyll. This combination is expected to amplify the destructive effects on cancer cells through the synergistic mechanisms of PDT and photothermal therapy (PTT). One of the objectives of this study was to evaluate the parameters involved in the chlorophyll extraction process from *Spirulina platensis* using the LP-MAE method to achieve optimal chlorophyll yield. The study results indicated that the extraction process began with I-optimal statistical modeling and yielded the highest total chlorophyll concentration of 5045.7 µg/g biomass under optimal conditions, along with a maximum chlorophyll-a yield of 1590.2 µg/g biomass. Stability tests showed that chlorophyll dissolved in acetone was more stable than those dissolved in methanol and ethanol during four weeks of storage. The synthesis of AuNPs produced a wine-red solution with a UV-Vis absorption peak at 520.45 nm, with most AuNPs measuring 13-14 nm in diameter. Conjugation was performed on nine chlorophyll samples extracted using three different solvents. Spectral analysis revealed that samples A2N2, M2N2, and E2N2 exhibited three distinct absorption peaks, making them promising candidates for further evaluation as photosensitizers in phototherapy.

Keywords: AuNPs, chlorophyll, I-optimal design, LP-MAE, *Spirulina platensis*



@Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

© Hak Cipta milik IPB, tahun 2025
Hak Cipta dilindungi Undang-Undang

Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan atau menyebutkan sumbernya. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik, atau tinjauan suatu masalah, dan pengutipan tersebut tidak merugikan kepentingan IPB.

Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apa pun tanpa izin IPB

- Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

KONJUGASI AuNPs DENGAN EKSTRAK KLOROFIL *Spirulina platensis*

NOFAL ORTHESIN

Tesis
sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Magister pada
Program Studi Biofisika

PROGRAM STUDI BIOFISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2025



@Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

Tim Penguji pada Ujian Tesis:

Dr. rer.nat. Hendradi Hardhienata, S.Si., M.Si.

Judul Tesis : Konjugasi AuNPs dengan Ekstrak Klorofil *Spirulina platensis*
 Nama : Nofal Orthesin
 NIM : G7501212009

Disetujui oleh

Pembimbing 1:
 Dr. Yessie Widya Sari, S.Si., M.Si.

Pembimbing 2:
 Dr. Wulan Tri Wahyuni, S.Si., M.Si.

Pembimbing 3:
 Dr. Yuliati Herbani, S.Si., M.Sc.



Digitally signed by:
Yessie Widya Sari
 Date: 31 Jul 2025 10:12:39 WIB
 Verify at design.ipb.ac.id



Digitally signed by:
Wulan
 Date: 31 Jul 2025 10:12:39 WIB
 Verify at design.ipb.ac.id



TT ELEKTRONIK

Diketahui oleh

Ketua Program Studi:
 Dr. Mersi Kurniati, S.Si., M.Si.
 NIP 196811171998022001

Dekan Fakultas/Sekolah :
 Dr. Berry Juliandi, S.Si., M.Si.
 NIP 197807232007011001



Digitally signed by:
Mersi Kurniati
 Date: 1 Agu 2025 08:20:59 WIB
 Verify at design.ipb.ac.id



Digitally signed by:
Berry Juliandi
 Date: 1 Agu 2025 10:21:14 WIB
 Verify at design.ipb.ac.id

Tanggal Ujian: 29 Juli 2025

Tanggal Lulus:



Dokumen ini ditandatangani secara elektronik menggunakan sertifikat dari BSR, silahkan lakukan verifikasi pada dokumen elektronik yang dapat diunduh dengan melakukan scan QR Code



@Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

PRAKATA

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah subhanaahu wa ta'ala atas segala karunia-Nya sehingga karya ilmiah ini berhasil diselesaikan. Tema yang dipilih dalam penelitian yang dilaksanakan sejak bulan Agustus 2022 sampai bulan September 2023 ini ialah *Spirulina platensis*, dengan judul “**KONJUGASI AuNPs DENGAN EKSTRAK KLOROFIL *Spirulina platensis***”.

Terima kasih penulis ucapkan kepada para pembimbing, Ibu Dr. Yessie Widya Sari, M.Si, Ibu Dr. Wulan Tri Wahyuni, M.Si, dan Ibu Dr. Yuliaty Herbani, M.Sc yang telah membimbing dan banyak memberi saran. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada dosen-dosen Fisika IPB dan teman-teman S2 (Arul, Kiki, Fery, Zahra, Dania) dan S1 (Imam, Mia) departemen fisika IPB yang sudah memberikan semangat. Di samping itu, penghargaan penulis sampaikan kepada Ibu Dr. Utami Dyah Syafitri, M.Si yang telah membantu dalam pembuatan rancang bangun desain *I-optimal*. Penulis juga mengucapkan terimakasih kepada Prof. Isnaeni dan jajaran atas izin penelitian dan penggunaan peralatan pusat riset fisika departemen fotonika di BRIN Serpong. Ungkapan terima kasih juga disampaikan kepada ayah, ibu, serta seluruh keluarga. Kepada pasangan (Nunik Fitri Utami dan Cindyawati) beserta kedua anak saya (Fuad Habibie Orthesin dan Hifza Putri Yasmin) yang telah memberikan dukungan, harta, moril, doa, dan kasih sayangnya saya menyampaikan banyak terima kasih.

Semoga karya ilmiah ini bermanfaat bagi pihak yang membutuhkan dan bagi kemajuan ilmu pengetahuan.

Bogor, Juli 2025

Nofal Orthesin



@Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

DAFTAR ISI

DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR	xii
I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan	3
1.4 Manfaat	3
1.5 Ruang Lingkup	3
II TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Fotosensitizer	4
2.2 Teknik LP-MAE (Low Power -Microwave Assisted Extraction)	6
2.3 Metode Respon Permukaan (RSM) desain <i>I-optimal</i>	9
2.4 Klorofil	10
2.5 Nanopartikel Emas (AuNPs)	12
III METODE	14
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	14
3.2 Alat dan Bahan	14
3.3 Prosedur Percobaan	14
3.3.1 Studi literasi ekstraksi klorofil <i>Spirulina platensis</i> dan menyusun rancangan percobaan dengan metode desain <i>I-optimal</i>	14
3.3.2 Ekstraksi klorofil <i>Spirulina platensis</i> teknik LP-MAE dan Karakterisasi	15
3.3.3 Sintesis AuNPs	17
3.3.4 Konjugasi klorofil <i>Spirulina platensis</i> dengan AuNPs	17
IV HASIL DAN PEMBAHASAN	19
4.1 Klorofil <i>Spirulina platensis</i> Kering Hasil Ekstraksi Metode LP-MAE dengan Desain <i>I-optimal</i>	19
4.2 Nilai Viskositas, Total Padatan Terlarut (TDS), dan Stabilitas dari Ekstrak Klorofil <i>Spirulina platensis</i>	22
4.2.1 Nilai viskositas dan TDS ekstrak klorofil <i>Spirulina platensis</i>	22
4.2.2 Stabilitas Ekstrak Klorofil <i>Spirulina platensis</i>	23
4.3 AuNPs Hasil Sintesis	25
4.4 Konjugasi Klorofil <i>Spirulina platensis</i> dengan AuNPs	26
V SIMPULAN DAN SARAN	30
5.1 Simpulan	30
5.2 Saran	30
DAFTAR PUSTAKA	31
RIWAYAT HIDUP	36

DAFTAR TABEL

1	Penelitian terkait ekstraksi klorofil metode MAE pada mikroalgae	9
2	Pengkodean rasio konjugasi antara klorofil dengan AuNPs.	18
3	Hasil ekstraksi klorofil <i>Spirulina platensis</i> kering dengan bantuan desain <i>I-optimal</i>	19
4	Tabel data hasil pengukuran viskositas dan TDS	23
5	Nilai absorbansi dan panjang gelombang puncak pada uji stabilitas klorofil	25
6	Hasil pengenceran ekstrak klorofil <i>Spirulina platensis</i> dengan pelarut yang berbeda untuk mencapai nilai densitas optikal (DO) 1 au	27
7	Puncak-puncak grafik UV-Vis sampel konjugasi AuNPs dengan klorofil <i>Spirulina platensis</i>	29

DAFTAR GAMBAR

1	Diagram Jablonski skema fototerapi. Sumber: gambar dimodifikasi dari (Abrahamse dan Hamblin 2016)	4
2	Mekanisme bagaimana terjadinya kerusakan pada sel kanker dengan metode fototerapi. Sumber: gambar dimodifikasi dari (Abrahamse dan Hamblin 2016).	5
3	Beberapa contoh generasi fotosensitizer dan struktur kimianya. Fotosensitizer generasi pertama merupakan kelompok <i>phyrin</i> . Generasi kedua menggunakan <i>chlorin</i> . Untuk generasi ketiga atau <i>smart fotosensitizer</i> merupakan nanopartikel yang dikonjugasikan dengan fotosensitizer. Sumber: gambar dimodifikasi dari (Park <i>et al.</i> 2018).	6
4	Interaksi gelombang elektromagnetik yang mengenai partikel dari target sampel mengakibatkan molekul target berputar dan bergetar sehingga menghasilkan panas. Panas selanjutnya menghancurkan dinding sel dan mengeluarkan semua kandungan termasuk klorofil. Sumber: gambar dimodifikasi dari (Vinatoru <i>et al.</i> 2017; Tena dan Asuero 2022).	7
5	Struktur kimia klorofil a) klorofil-a, b) klorofil-b, c) klorofil-c tipe 1, d) klorofil-c tipe 2 dan e) klorofil-d. Klorofil-c dan d biasanya ditemui pada jenis alga yang hidup di laut. Magnesium (Mg) dengan garis putus putus menunjukkan ketidakstabilan klorofil yang mudah teroksidasi. Sumber: gambar diambil dari (Osório <i>et al.</i> 2020).	11
6	Berbagai bentuk nanopartikel emas yang dihasilkan dari berbagai metode dengan ukuran yang berbeda. Sumber: gambar diambil dari (De Freitas <i>et al.</i> 2018).	12
7	Diagram alir proses penentuan rancangan percobaan secara statistik menggunakan desain <i>I-optimal</i> .	15
8	Diagram alir proses ekstraksi klorofil <i>Spirulina platensis</i> dengan metode LP-MAE sampai dengan analisa dan karakterisasinya.	16
9	Diagram alir proses sintesis AuNPs dengan metode Turkevich dan karakterisasi UV-Vis.	17

10	Diagram alir proses konjugasi ekstrak klorofil <i>Spirulina platensis</i> dengan AuNPs beserta karakterisasi UV-Vis.	18
11	a) Ekstraksi klorofil <i>Spirulina platensis</i> kering menggunakan pelarut aseton, b) Ekstraksi klorofil <i>Spirulina platensis</i> kering menggunakan pelarut metanol, c) Ekstraksi klorofil <i>Spirulina platensis</i> kering menggunakan pelarut etanol.	20
12	Diagram batang kandungan klorofil-a <i>Spirulina platensis</i>	21
13	Diagram batang kandungan total klorofil <i>Spirulina platensis</i>	22
14	Uji stabilitas klorofil berpelarut a) Aseton, b) Metanol, c) Etanol. Uji stabilitas dilakukan selama 4 pekan dengan mengamati perubahan nilai serapan puncak secara vertikal dan horizontal.	24
15	a) Larutan AuNPs hasil sintesis menggunakan metode Turkevich, b) Larutan AuNPs dengan rasio pengenceran (15 : 40) mL, c) Grafik perbandingan AuNPs sebelum dan sesudah dicairkan, d) Citra TEM, e) Histogram distribusi ukuran partikel AuNPs.	25
16	a) Perbedaan kecerahan warna hijau yang dimiliki larutan klorofil <i>Spirulina platensis</i> berpelarut aseton 90%, metanol 90%, dan etanol 90%, b) Plot grafik UV-Vis sampel Gambar 16a, c) Pengenceran sampel klorofil hingga absorbansi puncaknya nya bernilai 1 au, d) Plot grafik UV-Vis sampel klorofil dengan jenis pelarut berbeda yang akan dikonjugasikan dengan AuNPs.	26
17	Hasil konjugasi AuNPs dengan klorofil <i>Spirulina platensis</i> disertai plot grafik serapan puncak uji UV-Vis a) Konjugasi AuNPs dengan klorofil berpelarut aseton, b) Konjugasi AuNPs dengan klorofil berpelarut metanol, c) Konjugasi AuNPs dengan klorofil berpelarut etanol	28

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dianggap mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dianggap mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.