



OPTIMASI PRODUKSI BIOETANOL DARI BIOMASSA RESIDU AGAR PENGOLAHAN *Gracilaria* sp. MENGGUNAKAN *DEEP EUTETIC SOLVENT* (DES)

JOSUA DANIEL MANURUNG



**PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNOLOGI HASIL PERAIRAN
FAKULTAS PERIKANAN DAN ILMU KELAUTAN
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 “Optimasi Produksi Bioetanol dari Biomassa Residu Agar Pengolahan *Gracilaria* sp. Menggunakan *Deep Eutetic Solvent* (DES)” 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, September 2025

Josua Daniel Manurung
C3501241017



RINGKASAN

JOSUA DANIEL MANURUNG. Optimasi Produksi Bioetanol dari Biomassa Residu Agar Pengolahan *Gracilaria* sp. Menggunakan *Deep Eutectic Solvent* (DES). Dibimbing oleh UJU, JOKO SANTOSO dan YANNI SUDIYANI.

Produksi bioetanol dari biomassa lignoselulosa merupakan salah satu pendekatan strategis dalam upaya transisi menuju energi terbarukan yang berkelanjutan dan ramah lingkungan. Biomassa residu agar dari *Gracilaria* sp. memiliki potensi sebagai sumber bahan baku bioetanol karena mengandung selulosa dan hemiselulosa dalam jumlah signifikan serta kadar lignin yang relatif rendah. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi efektivitas praperlakuan menggunakan *Deep Eutectic Solvent* (DES) berbasis kalium karbonat (K_2CO_3) dan etilen glikol (EG), serta mengoptimalkan kondisi praperlakuan untuk meningkatkan efisiensi produksi bioetanol melalui metode *Response Surface Methodology* (RSM) dengan *Central Composite Design* (CCD).

Deep Eutectic Solvent (DES) digunakan sebagai pelarut alternatif yang ramah lingkungan dengan sifat viskositas rendah, tidak mudah menguap, dapat terurai secara hayati, serta efisien dalam melarutkan lignin. Variabel penelitian meliputi suhu (100, 130 dan 150°C), waktu (60, 90 dan 120 menit), dan konsentrasi DES (30, 60 dan 90%). Analisis kandungan lignin, selulosa, dan hemiselulosa dilakukan untuk menilai efektivitas praperlakuan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kondisi optimum tercapai pada suhu 150°C, selama 60 menit, dan konsentrasi DES 30%, yang menghasilkan pengurangan kandungan lignin hingga 4,78%.

Proses hidrolisis dilakukan menggunakan enzim agarase dan selulase, dan menunjukkan bahwa perlakuan biomassa pada konsentrasi 10% menghasilkan gula pereduksi tertinggi sebesar $53,54 \pm 2,42$ g/L. Konsentrasi substrat 12,5% terjadi penurunan kandungan gula pereduksi menjadi $47,49 \pm 9,16$ g/L, yang mengindikasikan adanya batas optimal konsentrasi substrat. Fermentasi menggunakan *Saccharomyces cerevisiae* menunjukkan bahwa bioetanol tertinggi diperoleh sebesar $2,27 \pm 0,38\%$. Temuan ini menegaskan bahwa praperlakuan menggunakan DES K_2CO_3 :EG efektif dalam meningkatkan ketersediaan substrat fermentasi melalui pengurangan lignin dan peningkatan kandungan selulosa. Hasil penelitian ini mendukung potensi pemanfaatan limbah biomassa laut sebagai sumber energi terbarukan dalam kerangka pengembangan biofuel generasi ketiga.

Kata kunci: DES, *Gracilaria* sp., gula, lignoselulosa, praperlakuan.

SUMMARY

JOSUA DANIEL MANURUNG. Optimization of Bioethanol Production from Agar Residue Biomass of *Gracilaria* sp. Using Deep Eutectic Solvent (DES). Supervised by UJU, JOKO SANTOSO, and YANNI SUDIYANI.

The production of bioethanol from lignocellulosic biomass is a strategic approach in the transition toward sustainable and environmentally friendly renewable energy. Agar residue biomass derived from *Gracilaria* sp. holds significant potential as a raw material for bioethanol production due to its high cellulose and hemicellulose content and relatively low lignin concentration. This study aims to identify the effectiveness of pretreatment using a Deep Eutectic Solvent (DES) based on potassium carbonate (K_2CO_3) and ethylene glycol (EG), and to optimize the pretreatment conditions to improve bioethanol production efficiency through the Response Surface Methodology (RSM) using a Central Composite Design (CCD).

Deep Eutectic Solvent (DES) was employed as an environmentally friendly alternative solvent characterized by low viscosity, low volatility, biodegradability, and high efficiency in dissolving lignin. The investigated variables included temperature (100, 130, and 150°C), duration (60, 90, and 120 minutes), and DES concentration (30%, 60%, and 90%). Analyses of lignin, cellulose, and hemicellulose contents were conducted to assess the effectiveness of the pretreatment process. The results showed that the optimal pretreatment condition was achieved at 150°C for 60 minutes with a DES concentration of 30%, resulting in a reduction of lignin content to 4.78%.

The hydrolysis process, carried out using agarase and cellulase enzymes, revealed that the highest reducing sugar concentration (53.54 ± 2.42 g/L) was obtained at a biomass concentration of 10%. At 12.5% substrate concentration, the reducing sugar content decreased to 47.49 ± 9.16 g/L, indicating an optimal substrate threshold. Fermentation using *Saccharomyces cerevisiae* yielded the highest ethanol concentration at $2.27 \pm 0.38\%$. These findings confirm that pretreatment using DES K_2CO_3 :EG is effective in enhancing the availability of fermentable substrates by reducing lignin content and increasing cellulose concentration. The research provides valuable insights into the sustainable utilization of seaweed processing waste as a feedstock for third-generation bioethanol production, contributing to renewable energy development and climate change mitigation.

Keywords: DES, *Gracilaria* sp., lignocellulosic, pretreatment, sugar.



@Hak cipta milik IPB University

IPB University



IPB University
Bogor Indonesia

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.

OPTIMASI PRODUKSI BIOETANOL DARI BIOMASSA RESIDU AGAR PENGOLAHAN *Gracilaria* sp. MENGGUNAKAN *DEEP EUTETIC SOLVENT* (DES)

JOSUA DANIEL MANURUNG

Tesis
sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Magister Sains pada
Program Studi Teknologi Hasil Perairan

**PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNOLOGI HASIL PERAIRAN
FAKULTAS PERIKANAN DAN ILMU KELAUTAN
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:

- 1 Prof. Dr. Iriani Setyaningsih, M.S.
- 2 Dr. Ir. Bustami, M.Sc.



@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.

Judul Tesis : Optimasi Produksi Bioetanol dari Biomassa Residu Agar
Pengolahan *Gracilaria* sp. Menggunakan *Deep Eutetic Solvent*
(DES)

Nama : Josua Daniel Manurung
NIM : C3501241017

@Hak cipta milik IPB University

Pembimbing 1:
Prof. Dr.Eng. Uju, S.Pi., M.Si.

Pembimbing 2:
Prof. Dr. Ir. Joko Santoso, M.Si.

Pembimbing 3:
Prof. Dr. Yanni Sudiyani, M.Agr.

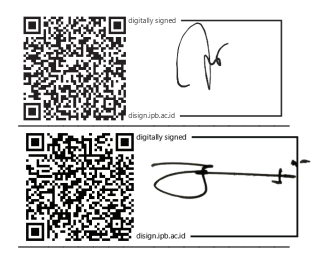
Disetujui oleh



Diketahui oleh

Ketua Program Studi:
Prof. Dr.Eng. Uju, S.Pi., M.Si.
NIP. 19730612 200012 1 001

Dekan Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan:
Prof. Dr. Ir. Fredinan Yulianda, M.Sc
NIP. 19630731 198803 1 002



Tanggal Ujian:
(26 Agustus 2025)

Tanggal Lulus:
(09 September 2025)



PRAKATA

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Tuhan atas segala karunia-Nya sehingga karya ilmiah ini berhasil diselesaikan. Tema yang dipilih dalam penelitian yang telah dilaksanakan sejak bulan Januari sampai bulan Juni 2025 dengan judul “Optimasi Produksi Bioetanol dari Biomassa Residu Agar Pengolahan *Gracilaria* sp. Menggunakan *Deep Eutetic Solvent* (DES)” dapat diselesaikan.

Penulis mengucapkan terima kasih kepada seluruh pihak yang telah membantu dalam penyelesaian proposal tesis ini, khususnya kepada:

1. Prof. Dr. Eng. Uju, S.Pi, M.Si., Prof. Dr. Ir. Joko Santoso, M.Si., Prof. Dr. Yanni Sudiyani, M.Agr., selaku Dosen Pembimbing atas seluruh bimbingan, motivasi, dan bantuan yang telah diberikan kepada penulis selama melakukan penelitian dan menyusun tesis ini.
2. Prof. Dr. Iriani Setyaningsih, M.S selaku dosen penguji tesis dan Dr. Ir. Bustami, M.Sc selaku dosen penelaah GKM yang telah memberikan saran dan masukan pada penulisan tesis serta membantu kelancaran dalam proses ujian tesis.
3. Dr. Roni Nugraha, S.Si., M.Sc selaku Ketua Departemen Teknologi Hasil Perairan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Institut Pertanian Bogor.
4. Prof. Dr. Roni Maryana, Kepala Pusat Riset Kimia Molekuler BRIN, yang telah bersedia memberikan kesempatan fasilitas alat, bahan, dana, waktu dan tempat kepada penulis melaksanakan penelitian di Laboratorium Kimia-Bio Adi BRIN, KST. B.J Habibie, Setu, Tangerang Selatan.
5. Kepada kedua orang tua saya yang selalu memberikan nasehat, memberikan pujian, memberikan dana, dan yang selalu mendukung serta mendoakan agar setiap proses berjalan dengan baik dan dapat bermanfaat untuk banyak orang.
6. Kepada abang, kakak, adik yang selalu memberikan kasih sayang, selalu mendoakan, selalu penuh dukungan dan memberikan dukungan kepada penulis.
7. Kepada teman-teman saya yaitu Fajar, Vivi, Messa, Marisa yang banyak memberikan dukungan dan doa, dan juga teman-teman di kelas S2, yaitu Kak Wisda dan Arlin yang banyak sekali membantu penulis selama perkuliahan dan sampai di tugas akhir.
8. Teman-teman di Pusat Riset kimia Molekuler BRIN, Kelompok Riset Kimia-Bio dan Kimia Adi yang sangat banyak membantu, memberikan doa, motivasi dan dukungan kepada penulis dalam proses penelitian yaitu Kak Aya, Kak Rini, Kak Novi, Rahul, Daffa, Farsyad, Dinda, Permata, Prince dan Aflin serta teman-teman yang belum disebutkan yang kebersamaan dalam penelitian serta menemani dalam suka dan duka.

Penulis menyadari bahwa karya ilmiah ini masih terdapat kekurangan dalam penulisan. Semoga karya ilmiah ini bermanfaat bagi pihak yang membutuhkan dan bagi kemajuan ilmu pengetahuan.

Bogor, September 2025

Josua Daniel Manurung



DAFTAR ISI

DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xii
PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Tujuan	4
1.4 Manfaat	4
1.5 Ruang Lingkup	4
1.6 Hipotesis	5
II METODE	6
2.1 Waktu dan Tempat Penelitian	6
2.2 Alat dan Bahan	6
2.3 Prosedur Kerja	6
2.4 Prosedur Analisis	9
2.5 Analisis data	14
III HASIL DAN PEMBAHASAN	18
3.1 Karakteristik Larutan <i>Deep Eutectic Solvent</i> (DES)	18
3.2 Karakteristik Residu Agar <i>Gracilaria</i> sp.	20
3.3 Praperlakuan Berdasarkan <i>Response Surface Methodology</i> (RSM)	21
3.4 Perubahan Karakteristik Residu Agar <i>Gracilaria</i> sp. dan Biomassa	29
Praperlakuan Terbaik	29
3.4.1 Gugus Fungsi Residu Agar <i>Gracilaria</i> sp. Sebelum dan Biomassa	31
Praperlakuan Terbaik	31
3.4.2 Karakteristik Mikrostruktur	32
3.4.3 Karakteristik Komposisi Unsur Kimia	34
3.4.4 Kristalinitas	35
3.5 Hasil Hidrolisat Praperlakuan Residu Agar <i>Gracilaria</i> sp.	38
3.6 Hasil Bioetanol Praperlakuan Residu Agar <i>Gracilaria</i> sp.	40
IV SIMPULAN DAN SARAN	43
4.1 Simpulan	43
4.2 Saran	43
DAFTAR PUSTAKA	44
LAMPIRAN	51



DAFTAR TABEL

1	Rancangan percobaan praperlakuan menggunakan <i>central composite design</i> (CCD)	16
2	Karakterisasi <i>Deep Eutectic Solvent</i> (DES)	19
3	Komponen biomassa residu <i>Gracilaria</i> sp. sebelum praperlakuan	20
4	Hasil analisis variansi ragam pengaruh kondisi praperlakuan terhadap kadar lignin	22
5	<i>Fit summary</i> model yang digunakan	22
6	Parameter nilai optimasi kondisi kadar lignin	26
7	Hasil prediksi dan verifikasi kondisi optimum kadar lignin	27
8	Hasil Kadar lignin setelah praperlakuan	28
9	Komponen biomassa residu <i>Gracilaria</i> sp. sebelum praperlakuan dan biomassa praperlakuan terbaik	30
10	Gugus fungsi residu agar <i>Gracilaria</i> sp. sebelum dan biomassa praperlakuan terbaik	33
11	Hasil analisis CHN dan XRF residu <i>Gracilaria</i> sp sebelum dan biomassa praperlakuan terbaik	36
12	Hasil kristalinitas pada <i>Gracilaria</i> sp., residu agar, dan biomassa praperlakuan terbaik	37

DAFTAR GAMBAR

1	Diagram alir pembuatan bioetanol	7
2	Interaksi pembentukan DES K ₂ CO ₃ :EG	18
3	Residu <i>Gracilaria</i> sp.	20
4	<i>Plot surface area</i> 3D parameter waktu dan suhu	24
5	<i>Plot surface area</i> 3D parameter konsentrasi dan waktu	24
6	<i>Plot surface area</i> 3D parameter konsentrasi dan suhu	25
7	Nilai prediksi dan nilai aktual dari kadar lignin	26
8	Spektrum gugus fungsi residu agar <i>Gracilaria</i> sp. sebelum dan biomassa praperlakuan terbaik	32
9	Mikrostruktur <i>Gracilaria</i> sp., residu agar <i>Gracilaria</i> sp. dan hasil praperlakuan DES dengan perbesaran 100x dan 3.000x, a dan b: <i>Gracilaria</i> sp., c dan d: residu agar <i>Gracilaria</i> sp. serta e dan f: hasil praperlakuan terbaik	34
10	EDS <i>Gracilaria</i> sp., residu agar <i>Gracilaria</i> sp. dan hasil praperlakuan DES, a: <i>Gracilaria</i> sp., b: residu agar <i>Gracilaria</i> sp. dan c: hasil praperlakuan terbaik.	34
11	Hasil analisis <i>X-ray Diffraction</i> (XRD) pada a: <i>Gracilaria</i> sp., b: residu agar, dan c: biomassa praperlakuan terbaik	37
12	Perubahan kadar gula selama proses hidrolisis	39
13	Pengaruh konsentrasi substrat terhadap kadar bioetanol	41

DAFTAR LAMPIRAN

1	Hasil Faktor <i>Respons Surface Methodology</i> (RSM)	52
2	Hasil ANOVA gula pereduksi	54
3	Hasil uji lanjut duncan gula pereduksi	54
4	Hasil ANOVA bioetanol	55
5	Hasil uji lanjut duncan bioetanol	55

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.