

# **PRODUKSI BIOETANOL BERBAHAN BAKU REBUNG MELALUI REKAYASA BIOREAKTOR RESPIRATIF- FERMENTATIF SINAMBUNG**

**HENDRI ROPINGI**



**PROGRAM STUDI BIOTEKNOLOGI  
SEKOLAH PASCASARJANA  
INSTITUT PERTANIAN BOGOR  
BOGOR  
2026**

- 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 “Produksi Bioetanol Berbahan Baku Rebung melalui Rekayasa Bioreaktor Respiratif-Fermentatif Sinambung” 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, Maret 2026

Hendri Ropingi  
P0501231001

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

HENDRI ROPINGI. Produksi Bioetanol Berbahan Baku Rebung melalui Rekayasa Bioreaktor Respiratif-Fermentatif Sinambung. Dibimbing oleh KHASWAR SYAMSU dan IRVAN SETIADI KARTAWIRIA.

Bioetanol adalah produk metabolisme primer yang diproduksi dari biomassa oleh mikroorganisme. Bioetanol dapat berperan sebagai bahan bakar untuk menggantikan penggunaan bahan bakar yang bersumber dari fosil. Rebung merupakan sumber lignoselulosa yang dapat digunakan sebagai substrat bioetanol. Rebung memiliki kandungan lignin relatif rendah dibandingkan dengan lignoselulosa lain dan juga memiliki kandungan protein yang tinggi. Penelitian ini bertujuan untuk mengkarakterisasi rebung bambu ampel (*Bambusa vulgaris*), membandingkan produksi bioetanol dari rebung (*B. vulgaris*) menggunakan teknik SSF konvensional dan terekayasa, dan memproduksi bioetanol menggunakan metode rekayasa sinambung bioreaktor dua tahap aerasi penuh-tanpa aerasi. Produksi bioetanol dari rebung menggunakan metode *simultaneous saccharification and fermentation* (SSF) dengan menggunakan *Trichoderma reesei* untuk hidrolisis dan *Saccharomyces cerevisiae* untuk fermentasi. Untuk kondisi teknik respiratif (dengan aerasi)-fermentatif (tanpa aerasi) dengan rekayasa aerasi pada kultur sinambung dengan volume 100 mL.

Hasil analisis proksimat menunjukkan bahwa rebung mengandung protein sebesar  $25,51 \pm 0,46\%$  dan serat sebesar  $18,89 \pm 0,37\%$ . Selain itu, kadar selulosa, hemiselulosa, dan lignin masing-masing terukur sebesar  $28,40 \pm 0,49\%$ ,  $31,28 \pm 0,23\%$ , dan  $3,77 \pm 0,40\%$ . Hasil penelitian menunjukkan bahwa teknik SSF konvensional menghasilkan etanol pada konsentrasi  $3,42 \pm 0,02$  g/L, dengan nilai  $Y_{p/s}$  sebesar  $0,37 \pm 0,01$  g/g. Setelah penerapan rekayasa aerasi melalui metode SSF terekayasa, konsentrasi etanol meningkat menjadi  $4,50 \pm 0,01$  g L<sup>-1</sup>, dengan nilai  $Y_{p/s}$  sebesar  $0,50 \pm 0,02$  g/g. Nilai laju pembentukan etanol dan  $Y_{p/s}$  pada metode SSF terekayasa juga lebih tinggi, yaitu  $0,06 \pm 0,00$  g/L/jam dan  $0,50 \pm 0,02$  g/g dibandingkan dengan SSF konvensional sebesar  $0,05 \pm 0,00$  g/L/jam dan  $0,37 \pm 0,02$  g/g. Peningkatan rendemen etanol dari metode SSF terekayasa sebesar 1,35 ± 0,05 kali lipat dibandingkan dengan metode SSF konvensional. Untuk produksi bioetanol pada kultur sinambung pada semua variasi laju alir menunjukkan konsentrasi selulosa rendah, glukosa rendah, dan tidak terdeteksinya etanol.

Kata kunci: bioetanol, rebung, rekayasa bioreaktor, *Saccharomyces cerevisiae*, *Trichoderma reesei*.

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 mengumumkannya dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



## SUMMARY

HENDRI ROPINGI. Bioethanol Production from Bamboo Shoots through an Engineered Continuous Respirative-Fermentative Bioreactor. Supervised by KHASWAR SYAMSU and IRVAN SETIADI KARTAWIRIA.

Bioethanol is a primary metabolic product produced from biomass by microorganisms. Bioethanol can act as a fuel to replace the use of fossil-derived fuels. Bamboo shoots are a lignocellulosic source that can be used as a bioethanol substrate. Bamboo shoots have a relatively low lignin content compared to other lignocelluloses and also have a high protein content. This study aims to characterize ampel bamboo shoots (*Bambusa vulgaris*), compare bioethanol production from bamboo shoots (*B. vulgaris*) using conventional and engineered SSF techniques, and produce bioethanol using a full aeration-without aeration two-stage bioreactor continuous engineered method. Bioethanol production from bamboo shoots uses the *simultaneous saccharification and fermentation* (SSF) method using *Trichoderma reesei* for hydrolysis and *Saccharomyces cerevisiae* for fermentation. For the condition of respiratory (with aeration)-fermentative (without aeration) techniques with aeration engineering in continuous culture with a volume of 100 mL.

The results of proximate analysis showed that bamboo shoots contained protein of  $25.51 \pm 0.46\%$  and fiber of  $18.89 \pm 0.37\%$ . In addition, cellulose, hemicellulose, and lignin levels were measured at  $28.40 \pm 0.49\%$ ,  $31.28 \pm 0.23\%$ , and  $3.77 \pm 0.40\%$ , respectively. The results showed that the conventional SSF technique produced ethanol at a concentration of  $3.42 \pm 0.02$  g/L, with a  $Y_{p/s}$  value of  $0.37 \pm 0.01$  g/g. After the application of aeration engineering through the engineered SSF method, the ethanol concentration increased to  $4.50 \pm 0.01$  g L<sup>-1</sup>, with a  $Y_{p/s}$  value of  $0.50 \pm 0.02$  g/g. The values of ethanol and  $Y_{p/s}$  formation rates in the engineered SSF method were also higher, namely  $0.06 \pm 0.00$  g/L/h and  $0.50 \pm 0.02$  g/g compared to conventional SSF of  $0.05 \pm 0.00$  g/L/h and  $0.37 \pm 0.02$  g/g. The increase in ethanol yield from the engineered SSF method was  $1.35 \pm 0.05$  times compared to the conventional SSF method. For bioethanol production in continuous culture at all flow rate variations, low cellulose concentrations, low glucose, and undetectable ethanol were shown.

Keywords: bamboo shoots, bioethanol, bioreactor engineered, *Saccharomyces cerevisiae*, *Trichoderma reesei*.

© Hak Cipta milik IPB, tahun 2026  
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.

# **PRODUKSI BIOETANOL BERBAHAN BAKU REBUNG MELALUI REKAYASA BIOREAKTOR RESPIRATIF- FERMENTATIF SINAMBUNG**

**HENDRI ROPINGI**

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

**PROGRAM STUDI BIOTEKNOLOGI  
SEKOLAH PASCASARJANA  
INSTITUT PERTANIAN BOGOR  
BOGOR  
2026**

- 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 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 mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

Penguji Luar Komisi Pembimbing pada Ujian Tesis:  
Dr. Ir. Mulyorini Rahayuningsih, M.Si.

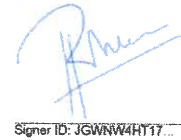
Judul Tesis : Produksi Bioetanol Berbahan Baku Rebung Melalui  
Rekayasa Bioreaktor Respiratif-Fermentatif Sinambung  
Nama : Hendri Ropingi  
NIM : P0501231001

Disetujui oleh

Pembimbing 1:  
Prof. Dr. Ir. Khaswar Syamsu, M.Sc.St.



Pembimbing 2:  
Dr. Irvan Setiadi Kartawiria, S.T., M.Sc.



Diketahui oleh

Ketua Program Studi Bioteknologi:  
Prof. Dr. Ir. Miftahudin, M.Si.  
NIP 196204191989031001



Dekan Sekolah Pascasarjana:  
Prof. Dr. Ir. Yusli Wardiatno, M.Sc.  
NIP 196607281991031002

Tanggal Ujian: 4 Maret 2026

Tanggal Lulus: 18 MAR 2026

## PRAKATA

Alhamdulillah Rabbil'alamin. Segala bentuk puja dan puji hanya semata-mata untuk Allah azza wa jalla. Shalawat dan salam merupakan bentuk penghormatan kepada Nabi Muhammad Shalallahu Alaihi Wassalam beserta keluarga dan sahabatnya. Penulis bersyukur dapat menyelesaikan tesis dengan judul “Produksi Bioetanol Berbahan Baku Rebung melalui Rekayasa Bioreaktor Respiratif-Fermentatif Sinambung.” Penulisan dan penyusunan tesis ini tidak lepas dari arahan dan bantuan banyak pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada:

1. Prof. Dr. Ir. Khaswar Syamsu, M.Sc.St. selaku ketua komisi pembimbing dan Dr. Irvan Setiadi Kartawiria, S.T., M.Sc. selaku anggota komisi pembimbing yang telah membimbing dan banyak memberi saran selama proses penelitian dan penulisan tesis ini.
2. Dr. Ir. Mulyorini Rahayuningsih, M.Si. selaku penguji luar komisi yang telah memberikan kritik, arahan, dan saran agar meningkatkan kualitas penyusunan tesis.
3. Dr. Ir. Aris Tjahjoleksono, D.E.A., selaku ketua sidang yang juga telah memberikan kritik, arahan, dan saran agar meningkatkan kualitas penyusunan tesis.
4. Prof. Dr. Ir. Miftahudin sebagai Ketua Program Studi Bioteknologi yang telah memberikan arahnya selama perkuliahan hingga akhir penulisan tesis.
5. Lembaga Pengelola Dana Pendidikan (LPDP) yang telah memberikan beasiswa pendidikan selama 2 tahun.
6. Keluarga terkhusus kedua orangtua, bapak Kasjadi dan ibu Antiyah, kakak Yeti Diana, nenek Katmini dan kedua ponakan Sonia dan Valen yang senantiasa hadir kebersamai. Doa yang kalian hadirkan ke langit, menjadi “katalis” bagi penulis untuk menggapai cita-cita dan mimpi yang sedang diusahakan.
7. *My 5-Hydroxytryptamine* yang senantiasa memberikan motivasi dan dukungan kepada penulis untuk selalu semangat dalam menyelesaikan pendidikan S-2.
8. Keluarga besar khususnya Bapak Mulyadi dan juga Mbak Eli, Mas Santo, Ziggy, dan Daanish yang telah membantu dalam mencari sampel rebung dan juga membantu selama di Bogor.
9. Teman-teman sepermabaran dan seperjuangan di IPB, Dhio (KaiUsmanii), Kak Abdan (Tomzz) Imam (ZM2026), Shavira (Tyongf), dan Prima (JueVioleGrace & Vergissmeinnicht) yang saling memberikan dukungan selama menempuh pendidikan S-2 di program studi Bioteknologi.
10. Keluarga besar khususnya Bioteknologi 2023 dan Bioteknologi IPB umumnya, terimakasih atas kebersamaannya berbagi cerita dan kisah yang menjadi pengalaman dalam menjalani perkuliahan di Bioteknologi IPB.
11. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada ketua lab dan para staf laboran (Mas Rizal, Kak Stacia, dan Mas Theo) di Laboratorium Swiss German University karena sudah membantu banyak dalam menyediakan segala kebutuhan laboratorium.

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 mengumumkannya dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

Meskipun penulis telah berusaha menyelesaikan karya ilmiah ini dengan baik, tetapi penulis menyadari bahwa karya ilmiah ini masih bisa dikembangkan. Semoga karya ilmiah ini bermanfaat bagi pihak yang membutuhkan dan bagi kemajuan ilmu pengetahuan.

Bogor, Maret 2026

Hendri Ropingi  
P0501231001

*@Hak cipta milik IPB University*

IPB University



## DAFTAR ISI

DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xii
I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian	4
1.5 Ruang Lingkup Penelitian	4
II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Bambu	5
2.2 Produksi Bioetanol Generasi Kedua	7
2.3 Teknologi Produksi Bioetanol	11
2.3.1 <i>Simultaneous Saccharification and Fermentation</i>	11
2.3.2 Operasi Kultur Sinambung	12
III METODOLOGI PENELITIAN	15
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	15
3.2 Alat dan Bahan	15
3.3 Prosedur Penelitian	15
3.3.1 Preparasi Rebung	16
3.3.2 Persiapan Kultur <i>T. reesei</i> dan <i>S. cerevisiae</i>	16
3.3.3 Kultivasi <i>T. reesei</i>	16
3.3.4 Produksi Bioetanol Menggunakan Metode SSF Konvensional	16
3.3.5 Produksi Bioetanol Menggunakan Metode SSF Terekayasa	17
3.3.6 Produksi Bioetanol Menggunakan Teknik Respiratif-Fermentatif Sinambung	17
3.3.7 Metode Analisis	17
IV HASIL DAN PEMBAHASAN	19
4.1 Karakterisasi Rebung	19
4.2 Kultivasi <i>T. reesei</i>	20
4.3 Produksi Bioetanol Menggunakan Metode SSF Konvensional	21
4.4 Produksi Bioetanol Menggunakan Metode SSF Terekayasa	24
4.5 Produksi Bioetanol Menggunakan Teknik Respiratif-Fermentatif Sinambung	25
4.6 Pembahasan Umum	27
KESIMPULAN DAN SARAN	33
5.1 Kesimpulan	33
5.2 Saran	33
DAFTAR PUSTAKA	35
LAMPIRAN	47

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 mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



## DAFTAR TABEL

1	Kadar lignoselulosa antara rebung dan bambu	5
2	Kandungan asam amino pada rebung ( <i>Phyllostachys mannii</i> ) (Rana <i>et al.</i> 2022)	6
3	Kandungan mineral pada rebung ( <i>P. mannii</i> ) (Rana <i>et al.</i> 2022)	7
4	Mikroorganisme penghasil enzim selulase	10
5	Penggunaan <i>S. cerevisiae</i> untuk produksi bioetanol generasi kedua	11
6	Penggunaan metode SSF pada berbagai substrat lignoselulosa	12
7	Komposisi komponen fraksi proksimat dari berbagai rebung	19
8	Komposisi komponen lignoselulosa dari berbagai jenis rebung bambu	20
9	Hasil parameter kultivasi pada bioreaktor aerasi penuh	26
10	Hasil parameter kultivasi bioreaktor tanpa aerasi	26

## DAFTAR GAMBAR

1	Rebung bambu ampel hijau yang belum dipanen (A) dan rebung bambu ampel hijau yang telah dipanen dan dipisahkan dari kulitnya (Sumber: pribadi)	7
2	Proses produksi bioetanol dari bahan lignoselulosa (Kumar <i>et al.</i> 2019)	8
3	Struktur dan komponen dari lignoselulosa (Li dan Takkellapati 2018)	9
4	Desain rangkaian teknik kultur sinambung respiratif (dengan aerasi)-fermentatif (tanpa aerasi) (Kartawiria <i>et al.</i> 2016)	13
5	Tahapan penelitian yang dilakukan	15
6	Kurva pertumbuhan biomassa kering kapang ( <i>T. reesei</i> ) (A) dan produksi glukosa dari substrat rebung (B)	21
7	Kurva pertumbuhan biomassa sel kering (A) dan produksi bioetanol menggunakan metode SSF konvensional pada substrat rebung (B)	22
8	Kurva pertumbuhan biomassa sel kering (A) dan produksi bioetanol menggunakan metode SSF terekayasa pada substrat rebung (B)	24
9	Kurva perbandingan pertumbuhan biomassa sel kering menggunakan metode SSF konvensional dan terekayasa	28
10	Kurva perbandingan proses hidrolisis glukosa dari selulosa pada metode SSF konvensional dan terekayasa	29
11	Kurva perbandingan terbentuknya etanol menggunakan metode SSF konvensional dan terekayasa	30

## DAFTAR LAMPIRAN

1	Prosedur analisis komponen proksimat rebung	49
2	Prosedur analisis komponen serat rebung	51
3	Pengukuran parameter kultivasi	52
4	Data kinetika kultivasi <i>Trichoderma reesei</i>	54
5	Data kinetika SSF konvensional	56
6	Data kinetika SSF terekayasa	58
7	Data pengukuran absorbansi kultur sinambung	60

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 mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.