

TESIS
STUDI KINETIKA HIDROLISIS ENZIMATIK
MELALUI KOH-MICROWAVE ASSISTED
PRETREATMENT SERBUK KAYU KARET (*HEVEA*
***BRASILIENSIS*) MENJADI GULA UNTUK PRODUKSI**
BIOETANOL

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mendapatkan
Gelar Magister Teknik (M.T) Pada Fakultas Teknik
Universitas Sriwijaya



LUKI ANUGRAH WATI
03012622428001

PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK KIMIA
JURUSAN TEKNIK KIMIA
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SRIWIJAYA
2025

HALAMAN PENGESAHAN

**STUDI KINETIKA HIDROLISIS ENZIMATIK
MELALUI KOH-MICROWAVE PRETREATMENT
SERBUK KAYU KARET (*HEVEA BRASILIENSIS*)
MENJADI GULA UNTUK PRODUKSI BIOETANOL**

TESIS

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mendapatkan
Gelara Magister Teknik (M. T.) Pada Fakultas Teknik
Universitas Sriwijaya

Palembang, Juni 2025

Menyetujui

Pembimbing I



Prof. Ir. Novia S.T., M.T., Ph.D
NIP. 197311052000032003

Pembimbing II



Dr. Ir. Selpiana, S.T., M.T
NIP. 197809192003122001

Mengetahui,



Dekan Fakultas Teknik
Universitas Sriwijaya

Dr. Ir. Bhakti Yudho Suprpto S.T., M.T., IPM
NIP. 197502112003121002

✓ Ketua Jurusan Teknik Kimia



Dr. Ir. Tuti Indah Sari S.T., M.T., IPM
NIP. 197502012000122001

HALAMAN PERSETUJUAN

Karya tulis ilmiah berupa Laporan Tesis ini dengan judul “Studi Kinetika Hidrolisis Enzimatik Melalui KOH-Microwave Pretreatment Serbuk Kayu Karet (*Hevea brasiliensis*) Menjadi Gula Untuk Produksi Bioetanol” telah dipertahankan dihadapan Tim Penguji Karya Tulis Ilmiah Program Studi Magister Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya pada tanggal 11 Juni 2025.

Palembang, Juni 2025

Tim Penguji Karya Tulis Ilmiah berupa Laporan

Tesis Ketua :

1. Prof. Dr. Ir. H. M. Faizal, DEA
NIP. 195805141984031001

()

Anggota :

2. Dr. Budi Santoso, S.T, M.T
NIP. 197706052003121004
3. Muhammad Rendana, B.Sc, M.Sc, Ph.D
NIP. 199204022019031017

()
()

Mengetahui,



 Ketua Jurusan Teknik Kimia


Dr. Ir. Tuli Indah Sari S.T., M.T., IPM
NIP. 197502012000122001

HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Luki Anugrah Wati

NIM : 03012622428001

Judul : Studi Kinetika Hidrolisis Enzimatik melalui KOH-Microwave
Assisted Pretreatment Serbuk Kayu Karet (*Hevea brasiliensis*)
Menjadi Gula untuk Produksi Bioetanol

Menyatakan bahwa Laporan Tesis saya merupakan hasil karya sendiri didampingi tim pembimbing dan bukan hasil penjiplakan/plagiat. Apabila ditemukan unsur penjiplakan/plagiat dalam Laporan Tesis ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik dari Universitas Sriwijaya sesuai aturan yang berlaku.

Demikian, pernyataan ini saya buat dalam keadaan sadar dan tanpa ada paksaan dari siapapun.



Palembang, Juni 2025
membuat Pernyataan,




Luki Anugrah Wati
NIM. 03012622428001

RINGKASAN

STUDI KINETIKA HIDROLISIS ENZIMATIK MELALUI KOH-MICROWAVE ASSISTED PRETREATMENT SERBUK KAYU KARET (HEVEA BRASILIENSIS) MENJADI GULA UNTUK PRODUKSI BIOETANOL

Karya tulis ilmiah berupa Tesis, 11 Juni 2025

Luki Anugrah Wati Dibimbing oleh Prof. Ir. Novia ST., MT., Ph.D dan Dr. Ir. Selpiana, S.T., M.T

Kinetic Study of Enzymatic Hydrolysis KOH-microwave assisted Pretreatment of Rubber Wood Sawdust (*Hevea brasiliensis*) into Sugar for Bioethanol Production

Vi, 72 Halaman, 9 Tabel, 19 Gambar, 10 Lampiran

RINGKASAN

Serbuk gergaji kayu karet, sumber daya lignoselulosa yang berasal dari limbah industri dan pertanian, memiliki potensi untuk diubah menjadi biofuel. Serbuk gergaji kayu karet mengalami pra-perlakuan untuk meningkatkan aksesibilitas selulosa terhadap enzim. Serbuk gergaji kayu karet yang telah diolah sebelumnya kemudian dicampur dengan larutan kalium hidroksida (KOH) pada konsentrasi 1% dan 2% (b/v). Setiap campuran dipanaskan secara konvensional selama 30 menit, diikuti oleh penetrasi gelombang mikro selama 5, 10, 15, 20, dan 25 menit yang beroperasi pada 2450 MHz, dengan tingkat daya 10% (daya gelombang mikro masukan 145 Watt). Hidrolisis enzimatis dilakukan dengan enzim selulase kasar pada suhu 50°C dengan variasi waktu hidrolisis 5, 10, 15, 20, 25 jam. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sampel dihidrolisis selama 25 jam, paparan gelombang mikro 2% (b/v) KOH selama 25 menit mencapai 2.31 g/L gula reduksi. Hidrolisat difermentasi selama 6 hari dengan yeast 12% (v/v) menghasilkan bioetanol sebesar 1.5% (v/v). Analisis kinetika hidrolisis enzimatis menggunakan Michaelis Menten didapatkan nilai k_2 cenderung lebih tinggi ketika biomassa dipretreatment 2% KOH microwave selama 25 menit yaitu sebesar 0.5858 s^{-1} . Metode ini mempengaruhi degradasi lignin, meningkatkan kadar selulosa dengan penggunaan energi yang lebih rendah.

Kata Kunci : Serbuk kayu ; Kalium hidroksida; Gula; Iradiasi gelombang mikro; Kinetika

SUMMARY

KINETIC STUDY OF ENZYMATIC HYDROLYSIS KOH-MICROWAVE ASSISTED PRETREATMENT OF RUBBER WOOD SAWDUST (*HEVEA BRASILIENSIS*) INTO SUGAR FOR BIOETHANOL PRODUCTION

Scientific paper in the form of Tesis, July 11st 2025

Luki Anugrah Wati supervised by Prof. Ir. Novia ST., MT., Ph.D and Dr. Ir. Selpiana, S.T., M.T

Studi Kinetika Hidrolisis Enzimatik melalui KOH-Microwave Assisted Pretreatment Serbuk Kayu Karet (*Hevea brasiliensis*) menjadi Gula untuk Produksi Bioetanol

Vi, 72 Pages, 9 Tables, 19 Pictures, 10 Appendix

SUMMARY

Rubber wood sawdust, a lignocellulosic resource derived from industrial and agricultural waste, has the potential to be converted into biofuel. Rubber wood sawdust was pretreated to increase the accessibility of cellulose to enzymes. The pretreated rubber wood sawdust was then mixed with potassium hydroxide (KOH) solution at concentrations of 1% and 2% (w/v). Each mixture was heated conventionally for 30 minutes, followed by microwave penetration for 5, 10, 15, 20, and 25 minutes operating at 2450 mHz, with a power level of 10% (input microwave power of 145 Watt). Enzymatic hydrolysis was carried out with crude cellulase enzyme at a temperature of 50°C with variations in hydrolysis time of 5, 10, 15, 20, 25 hours. The results showed that hydrolyzed for 25 hours, microwave exposure to 2% (w/v) KOH for 25 minutes reached 2.31 g/L of reducing sugar. Hydrolysate was fermented for 6 days with 12% (v/v) yeast to produce 1.5% (v/v) bioethanol. Analysis of enzymatic hydrolysis kinetics using Michaelis Menten obtained a k_2 value that tended to be higher when the biomass was pretreated with 2% KOH microwave for 25 minutes, which was 0.5858 s^{-1} . This method affects lignin degradation, increasing cellulose content with lower energy use.

Keyword : Sawdust; Potassium hydroxide; Sugar; Microwave irradiation; Kinetics

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kehadiran Tuhan Yang Maha Esa, karena atas rahmat dan karunia-Nyalah, penulis dapat menyelesaikan penyusunan laporan tesis yang berjudul “Studi Kinetika Hidrolisis Enzimatik melalui KOH-*Microwave Pretreatment* Serbuk Kayu Karet (*Hevea brasiliensis*) menjadi Gula untuk Produksi Bioetanol”. Isi laporan tesis ini diharapkan bermanfaat bagi pembaca terkait pemanfaatan sisa serbuk kayu karet menjadi bioetanol dengan metode yang lebih rendah energi.

Laporan tesis ini dibuat sebagai salah satu syarat yang harus dilewati dan dikerjakan untuk memperoleh gelar Magister Teknik (M. T.) pada Program Studi Teknik Kimia BKU Teknologi Energi Program Pascasarjana Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya.

Besar harapan penulis agar Laporan tesis ini dapat bermanfaat secara nyata bagi kehidupan, diharapkan mahasiswa dapat mempelajari dan memahami aplikasi ilmu dibangku kuliah. Laporan tesis ini tidak terselesaikan tanpa bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, ucapan terima kasih diberikan penulis kepada :

1. Suami dan orang tua yang selalu memberikan ridho, doa dan support
2. Dr. Ir. Bhakti Yudho Suprpto S.T., M.T, IPM, selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya
3. Dr. Ir. Tuti Indah Sari S.T., M.T., IPM, selaku Ketua Jurusan Teknik Kimia Universitas Sriwijaya
4. Dr. Ir. Selpiana S.T., M.T, selaku Ketua Program Studi Magister Teknik Kimia Universitas Sriwijaya dan sebagai dosen pembimbing tesis ke-2 yang selalu memberikan bimbingan dan arahan hingga pengerjaan tesis berjalan lancar
5. Prof. Dr. Novia S.T., M.T., Ph.D, selaku dosen pembimbing tesis ke-1 yang selalu memberikan bimbingan dan arahan hingga pengerjaan tesis berjalan lancar
6. Prof. Dr. Ir. H. M. Faizal, DEA, Dr. Budi Santoso, S.T, M.T, dan Muhammad Rendana, B.Sc, M.Sc, Ph.D selaku penguji tesis karena telah

turut serta dalam membantu, mengarahkan dan memberi ilmu agar tesis menjadi lebih baik

7. Rifqi Sufra, S.T. M.T dan Wika Atro Auriyani, S.T., M.T yang memberikan masukan dan diskusi dalam pengerjaan tesis sehingga berjalan dengan lancar.
8. Winta Efrinalia, S.T. M.T selaku analis Laboratorium Biokimia UPT Terpadu Universitas Sriwijaya yang memberikan masukan dan diskusi
9. PT. Sumatera Prima Fibreboard yang telah bersedia sebagai penyumbang material sampel untuk penelitian
10. Kepala Laboratorium Akamigas Palembang yang memfasilitasi kegiatan penelitian
11. Kepala Laboratorium UPT Terpadu Universitas Sriwijaya yang memfasilitasi kegiatan penelitian
12. Laras selaku Admin prodi Magister Teknik Kimia Universitas Sriwijaya
13. Teman-teman seperjuangan Magister Teknik Kimia 2024, dan teman terdekat yang turut memberi semangat dan motivasi selama pengerjaan tesis

Palembang, Juni 2025

Luki Anugrah Wati

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iv
HALAMAN PERSETUJUAN	iv
HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS	vi
RINGKASAN.....	vii
SUMMARY.....	viii
KATA PENGANTAR.....	ix
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR GAMBAR.....	xv
DAFTAR LAMPIRAN	xvi
DAFTAR ISTILAH DAN SINGKATAN.....	xvii
DAFTAR SIMBOL	xviii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Rumusan Masalah.....	3
1.3. Tujuan Penelitian.....	3
1.4. Hipotesa	3
1.5. Ruang Lingkup Penelitian	4
1.6. Manfaat Penelitian.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1. Biomassa Lignoselulosa	5
2.1.1. Selulosa	6
2.1.2. Hemiselulosa.....	6
2.1.3. Lignin.....	7
2.1.4. Karet.....	7
2.2. Tahapan Produksi Gula untuk Pembuatan Bioetanol	9
2.2.1. Bioetanol	9

2.2.2. <i>Pretreatment</i> Bahan Baku.....	10
2.2.2.1. Metode <i>Pretreatment</i> Fisika.....	11
2.2.2.2. Metode <i>Pretreatment</i> Kimia.....	12
2.2.2.3. Metode <i>Preteratment</i> Fisika-Kimia.....	14
2.2.2.4. KOH- <i>Microwave Assisted</i>	15
2.2.2.5. Kriteria Pelarut saat <i>Pretreatment</i>	20
2.3. Hidrolisis Enzimatik.....	21
2.4. Kinetika Hidrolisis.....	24
2.5. Fermentasi Gula.....	26
2.6. Teknik Fermentasi Separate Hydrolysyz Fermentation (SHF).....	28
2.7. Penelitian Terdahulu.....	29
BAB III METODELOGI PENELITIAN	34
3.1. Waktu dan Tempat Penelitian.....	34
3.2. Bahan dan Peralatan Penelitian	34
1.2.1. Peralatan Penelitian.....	34
1.2.2. Bahan Penelitian	35
3.3. Variabel Penelitian	36
3.4. Tahapan Penelitian	36
3.4.1. Preparasi Material Serbuk Kayu Karet (<i>Hevea brasiliensis</i>).....	36
3.4.2. <i>Pretreatment</i> KOH-microwave assisted	37
3.4.3. Pembuatan Enzim Selulase dari <i>Aspergillus niger</i>	37
3.4.4. Hidrolisis Enzimatik	38
3.4.5. Persiapan <i>Yeast</i> Inokulum.....	38
3.4.6. Proses Fermentasi	38
3.5. Diagram Alir Penelitian.....	39
3.6. Metode Pengolahan dan Analisis Data.....	39
3.6.1. Karakterisasi Komposisi Serbuk Kayu Karet	39
3.6.2. Analisis Gula.....	40
3.6.3. Analisis Alkoholmeter pada Bioetanol	41

3.6.4. Analisis Indeks Kritisitas	41
3.6.5. Jadwal Penelitian.....	41
BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN	42
4.1. <i>Pretreatment</i> Serbuk Kayu Karet	42
4.1.1. Karakterisasi Komponen Lignoselulosa	42
4.1.2. Analisis Morfologi Serbuk Kayu Karet	46
4.1.3. Karakterisasi Sampel dengan <i>Fourier Transform Infrared spectroscopy</i>	48
4.1.4. Analisis XRD (<i>X-Ray Diffraction</i>)	50
4.2. Produksi Gula Reduksi dari Serbuk Kayu Karet setelah <i>Pretreatment</i> ..	51
4.2.1. Hidrolisis Enzimatis	51
4.2.2. Aktivitas Enzim.....	53
4.3. Kinetika Hidrolisis Enzimatis	54
4.4. Produksi Bioetanol	57
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	61
5.1. Kesimpulan.....	61
5.2. Saran	61
DAFTAR PUSTAKA.....	62
LAMPIRAN	- 73

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2. 1. Kandungan Lignoselulosa pada Beberapa Jenis Biomassa	5
Tabel 2. 2. Jenis-jenis <i>Pretreatment</i> Fisika	12
Tabel 2. 3. Jenis-jenis <i>Pretreatment</i> Kimia	14
Tabel 2. 4. Jenis-jenis <i>Pretreatment</i> Fisika-Kimia	15
Tabel 2. 5. Perbandingan Pemanasan <i>Microwave</i> dan Konvensional	20
Tabel 3. 1. Jadwal Penelitian	41
Tabel 4. 1. Analisis EDS Komponen Serbuk Kayu Karet Sebelum <i>Pretreatment</i> dan Setelah <i>Pretreatment</i>	47
Tabel 4. 2. Nilai Konstanta Kinetika pada Setiap Hidrolisis Enzimatik	56
Tabel 4. 3. Hidrolisis Enzimatik Produksi Bioetanol dari Serbuk Kayu Karet.....	58
Tabel 4. 4. Perbandingan Hasil Bioetanol dengan Beragam Biomassa.....	59

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2. 1. Struktur Lignoselulosa	5
Gambar 2. 2. Struktur Selulosa	6
Gambar 2. 3. Struktur Xilan Salah Satu Contoh Hemiselulosa	7
Gambar 2. 4. Struktur Lignin	7
Gambar 2. 5. Serbuk Kayu Karet	8
Gambar 2. 6. Mekanisme Pemanasan <i>Microwave</i> : Rotasi Dipolar dan Konduksi Ionik	17
Gambar 2. 7. Proses Hidrolisis Selulosa oleh Enzim Selulase	23
Gambar 2. 8. Kultur <i>Aspergillus niger</i> pada PDA (a), Kultur <i>S. Cervisiae</i>	24
Gambar 2. 9. Tahapan Proses Fermentasi Glukosa.....	27
Gambar 3. 1. Proses Produksi Bioetanol.....	39
Gambar 4. 1. Tahapan <i>Pretreatment</i> Serbuk Kayu Karet dengan 1 dan 2% (b/v) KOH <i>Microwave</i> (5-25 menit)	42
Gambar 4. 2. Perbandingan waktu <i>microwave</i> terhadap (a) kandungan selulosa, (b) kandungan lignin, (c) kandungan hemiselulosa	43
Gambar 4. 3. (a). Perbedaan Warna Sebelum <i>Pretreatment</i> ; (b). Setelah <i>Pretreatment</i>	45
Gambar 4. 4. Morfologi Serbuk Kayu Karet (<i>Hevea brasiliensis</i>)	46
Gambar 4. 5. Analisis FTIR pada Sampel Sebelum <i>Pretreatment</i> dan Setelah <i>Pretreatment</i>	48
Gambar 4. 6. Pola Analisis XRD pada Serbuk Kayu Karet Sebelum dan Setelah <i>Pretreatment</i>	50
Gambar 4. 7. Pengaruh Waktu Hidrolisis terhadap Gula Reduksi.....	51
Gambar 4. 8. Pembuatan <i>Crude</i> Enzim Selulase.	53
Gambar 4. 9. Hubungan antara $[P]/\ln\{[P]_{\infty}/([P]_{\infty} - [P])\}$ dan $[E]_0 t/\ln\{[P]_{\infty}/([P]_{\infty} - [P])\}$ dengan Konsentrasi Enzim Selulase 20%.....	55

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran A. Gambar Produksi Gula dan Bioetanol	73
Lampiran B. Spesifikasi <i>Microwave</i>	77
Lampiran C. Perhitungan Kandungan Serbuk Kayu Karet	78
Lampiran D. Data Perhitungan Enzim	83
Lampiran E. Perhitungan Kinetika Reaksi	85
Lampiran F. Perhitungan Gula Pereduksi	88
Lampiran G. Perhitungan <i>Pretreatment</i>	91
Lampiran H. Perhitungan Konversi Selulosa Hidrolisis Enzimatik	94
Lampiran I. Perhitungan Volume Bioetanol	98
Lampiran J. <i>State of The Art</i>	99

DAFTAR ISTILAH DAN SINGKATAN

Istilah	Singkatan
DNA	<i>Deoxyribonucleic acid</i>
RNA	<i>Asam ribonukleat</i>
AFEX	<i>Ammonia fiber explosion</i>
PDA	<i>Potato Dextrose Agar</i>
ZA	<i>Zwavelzure Ammonia</i>
NPK	Nitrogen (N), Fosfor (P), dan Kalium (K)
TSP	<i>Triple Super Phosphate</i> (Jenis pupuk kimia)
SHF	<i>Separate hydrolysis fermentation</i>
FPU	<i>Filter paper unit</i>
CMC	<i>Carboxymethyl cellulose</i>
DNS	<i>Reagent (3,5- Dinitrosalicylic acid)</i>
YPD	<i>(Yeast peptone dextrose)</i>
XRD	<i>X-Ray Diffraction</i>
FTIR	<i>Fourier transform infrared spectroscopy</i>
Spektro-UV Vis	<i>Spektrofotometri Ultraviolet-Visible</i>
GC-FID	<i>Gas Chromatography-Flame Ionized Detector</i>
SEM-EDS	<i>Scanning Electron Microscope-Energy Dispersive Spectroscopy</i>
HWS	<i>Hot Water Soluble</i>
ODW	<i>Oven dry weight</i>

DAFTAR SIMBOL

Simbol	Pengertian	Unit
ε''	<i>Faktor kehilangan dielektrik</i>	<i>Farad per meter</i>
ε'	<i>Konstanta dielektrik</i>	<i>Farad per meter</i>
k_1	<i>Laju pembentukan pertama</i>	s^{-1}
k_{-1}	<i>Laju perusakan</i>	s^{-1}
k_2	<i>Laju pembentukan kedua</i>	s^{-1}
K_m	<i>Konstanta Michaelis Menten</i>	(Mol/L)
S	<i>Substrat (reaktan)</i>	<i>Mol/ml</i>
E	<i>Enzim (reaktan)</i>	<i>Mol/L</i>
E_0	<i>Enzim bebas</i>	<i>Mol/L</i>
ES	<i>Substrat-enzim (kompleks)</i>	<i>Mol/L</i>
P	<i>Produk</i>	<i>Mol/L</i>
v	<i>Laju pembentukan produk</i>	s^{-1}
V_M	<i>Laju maksimum enzim</i>	s^{-1}

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Energi mempunyai peranan penting dalam aspek sosio-ekonomi. Seiring dengan perkembangan industrialisasi konsumsi energi mengalami peningkatan, yang disebabkan oleh cadangan energi fosil kian menyusut. Masalah ini menarik perhatian peneliti untuk mengembangkan energi alternatif. Saat ini, bahan bakar yang berasal dari fosil merupakan sumber utama bahan bakar transportasi yang menyebabkan peningkatan gas rumah kaca. Efek dari ketergantungan ini menyebabkan eskalasi harga bahan bakar serta kerusakan lingkungan (Baruah dkk., 2018). Bioenergi terbarukan dan ramah lingkungan dapat berasal dari biomassa yang materialnya rendah emisi rumah kaca dan tidak bersaing dengan kebutuhan pangan, seperti residu kehutanan potongan kayu, serbuk kayu dan kulit pohon (Huang dkk., 2016).

Provinsi Sumatera Selatan memiliki luas area perkebunan karet rakyat terbesar di Indonesia yaitu 743.88 ribu hektar pada tahun 2023 atau 26,1% dari total luas area karet perkebunan rakyat nasional (BPS., 2024). Beberapa industri yang melibatkan material dari kayu karet, diantaranya industri pembuatan *Fibreboard* dan *Pulp and Paper*, yang memanfaatkan kayu karet mati sebagai bahan baku utama. Kayu karet tersebut melalui proses *chipping* dan *grinding* dengan ukuran standar tertentu. Selama proses tersebut menyisakan serbuk kayu dalam jumlah yang besar, namun belum diberdayakan sehingga selalu menumpuk dan tidak termanfaatkan. Selebihnya, serbuk kayu karet ini menjadi material potensial untuk menghasilkan gula C₆ yang selanjutnya dapat dikonversi menjadi bioenergi (Charnnok dkk., 2020). Salah satunya adalah pembuatan bioetanol generasi kedua. Komponen lignoselulosa pada kayu karet mengandung holoselulosa 77% (Ali dkk., 2023).

Secara umum biomassa lignoselulosa terdiri dari lignin, selulosa, dan hemiselulosa, dan komponen lainnya. Lignin merupakan polimer kompleks yang secara alami rigid dan sukar untuk didegradasi. Oleh karena itu perlu dilakukan

pemecahan struktur. *Pretreatment* perlu dilakukan dikarenakan lignin merupakan penghambat utama pada proses hidrolisis selulosa.

Sebelumnya beberapa penelitian melakukan *pretreatment* menggunakan asam seperti H_2SO_4 pada serbuk kayu karet (Chin dkk., 2011; Hossain dkk., 2021). Senyawa ini dapat menghasilkan produk samping berupa furfural dan hidroksi metil furfural, selain itu ada resiko korosi yang terjadi (Mankar dkk., 2021). Penggunaan senyawa alkali lebih rendah resiko daripada senyawa asam. Serbuk kayu karet juga diberi *pretreatment* alkali seperti NaOH sebelum hidrolisis untuk menghasilkan gula (Hassan dkk., 2018), namun penggunaan senyawa NaOH masih memerlukan penanganan limbah natriumnya.

Pretreatment konvensional pada temperatur dan tekanan tinggi terbatas oleh pemakaian energi yang besar, sehingga dibutuhkan teknik pemanasan alternatif yang juga dapat meningkatkan efisiensi. Kombinasi pemanasan konvensional yang dibantu iradiasi *microwave* dengan larutan alkali adalah metode alternatif yang dapat meningkatkan hidrolisis enzimatis dengan mempercepat reaksi (Anggriani dkk., 2023; Binod dkk., 2012; Kashaninejad dan Tabil., 2011). Selain itu dapat menghasilkan kandungan gula yang lebih tinggi dan penghilangan lignin yang lebih banyak (Ethaib dkk., 2014). Metode fisika-kimia gabungan sering digunakan secara efektif untuk memfraksinasi biokomponen lignoselulosa (Basak dkk., 2023). Selanjutnya selulosa yang diperoleh melalui *pretreatment* sebelumnya akan dihidrolisis untuk menghasilkan gula. Hidrolisis merupakan pereaksian selulosa dengan air untuk memecah atau mengurai suatu senyawa polisakarida (selulosa) menjadi monomer gula (Gazliya dan Aparna 2021; Maceiras dkk. 2021). Gula yang dihasilkan setelah hidrolisis akan difermentasi untuk menghasilkan bioetanol (Ardhiansyah dkk., 2023).

Berdasarkan penjelasan tersebut, proses *pretreatment* serbuk kayu karet sebelumnya masih memerlukan pemanasan tinggi disertai kontrol suhu yang sulit, penggunaan H_2SO_4 yang korosif, penggunaan NaOH yang sisa natriumnya butuh *recovery* sehingga meningkatkan *investment cost*. Diperlukan pengembangan metode *pretreatment* dan hidrolisis yang lebih efisien dan berkelanjutan pada serbuk kayu karet, sementara itu belum ada penelitian yang mengkaji kinetika hidrolisis enzimatis. Oleh karena itu dibutuhkan penelitian lebih lanjut mengenai

pretreatment dan hidrolisis dengan metode alkali (KOH)-*microwave assisted* pada serbuk kayu karet untuk menghasilkan gula dengan hidrolisis yang efisien.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan analisis uraian diatas maka dirumuskan yaitu

1. Bagaimana pengaruh kombinasi *pretreatment* KOH-*microwave* terhadap selulosa untuk pembuatan bioetanol?
2. Bagaimana efek dari konsentrasi KOH dan waktu pemanasan *microwave* terhadap lignin?
3. Bagaimana pengaruh waktu hidrolisis enzimatik terhadap konversi selulosa menjadi gula untuk pembuatan bioetanol?
4. Bagaimana kinetika reaksi hidrolisis enzimatik terhadap konversi selulosa menjadi gula untuk pembuatan bioetanol?

1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan yang hendak dicapai dalam penelitian ini adalah

1. Mengkaji pengaruh kombinasi *pretreatment* KOH-*microwave* terhadap selulosa untuk pembuatan bioetanol.
2. Mengkaji efek dari konsentrasi KOH dan waktu pemanasan *microwave* terhadap lignin.
3. Mengkaji pengaruh waktu hidrolisis enzimatik terhadap konversi selulosa menjadi gula untuk pembuatan bioetanol.
4. Mengkaji kinetika reaksi hidrolisis enzimatik terhadap konversi selulosa menjadi gula untuk pembuatan bioetanol.

1.4. Hipotesa

Selulosa dari serbuk kayu karet akan terkonversi menjadi gula setelah diberi *pretreatment* KOH-*microwave* dengan waktu pemanasan dan hidrolisis yang lebih singkat dalam pembuatan bioetanol.

1.5. Ruang Lingkup Penelitian

Ruang lingkup penelitian ini dibatasi dengan pengaruh konsentrasi KOH, durasi *microwave*, dan waktu hidrolisis terhadap konversi gula untuk pembuatan bioetanol.

1.6. Manfaat Penelitian

Beberapa manfaat yang ingin dicapai adalah

1. Penelitian ini dapat digunakan sebagai referensi *pretreatment* dan hidrolisis serbuk kayu karet menjadi gula untuk pembuatan bioetanol.
2. Bagi masyarakat diharapkan penelitian ini dapat memberikan informasi untuk memanfaatkan sisa serbuk kayu karet diolah lebih lanjut menjadi bioetanol.

DAFTAR PUSTAKA

- Admojo, L., dan Setiawan, B. 2018. Potensi pemanfaatan lignoselulosa dari biomasa kayu karet (*Hevea Brasiliensis* Muell Arg). *Warta Perkaratan* 37(1): 39–50.
- Agu, O., Tabil, L., dan Dumonceaux, T. 2017. Microwave-assisted alkali pre-treatment, densification and enzymatic saccharification of canola straw and oat hull. *Bioengineering* 4(4): 25.
- Alhassan, A. M. 2010. Chemical Pretreatment of Rubber Wood for Enzymatic Saccharification in Bioethanol Production. *Universiti Putra Malaysia*.
- Ali, M. R., Abdullah, U. H., Gerardin, P., Ashaari, Z., Hamid, N. H., dan Kamarudin, S. H. 2023. Chemical, crystallinity and morphological changes of rubberwood (*Hevea Brasiliensis* (Willd. Ex A. Juss.) Müll. Arg.) Hydrothermally Treated in Different Buffered Media. *Forests* 14(2).
- Anggriani, U. M., Novi, N., Melwita, E., dan Aprianti, T. 2023. Effect of temperature and time on alkaline pretreatment and alkaline microwave-assisted pretreatment on banana stem composition. *chemica: Jurnal Teknik Kimia* 10(3): 112.
- Anu, A. K., Jain, K. K., dan Singh, B. 2020. Process optimization for chemical pretreatment of rice straw for bioethanol production. *Renewable Energy* 156: 1233–43.
- Ardhiansyah, H., Dewi, R., Putri, A., dan Kusumaningrum, M. 2023. Comparison of ultrasonic wave pretreatment and microwave-koh combination pretreatment in producing bioethanol using rice husk waste. 21(2): 81–88.
- Arpia, A. A., Chen, W. H., Lam, S. S., Rousset, P., dan de Luna, M. D. G. 2021. Sustainable biofuel and bioenergy production from biomass waste residues using microwave-assisted heating: a comprehensive review. *Chemical Engineering Journal* 403: 126233.
- Asomaning, J., Haupt, S., Chae, M., dan Bressler, D. C. 2018. Recent developments in microwave-assisted thermal conversion of biomass for fuels and chemicals. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 92: 642–57.

- Bahndral, A., Shams, R., Dash, K. K., N. A. A., Shaikh, A. M., dan Kovács, B. 2024. Microwave assisted extraction of cellulose from lemon grass: effect on techno-functional and microstructural properties. *Journal of Agriculture and Food Research* 16.
- Bardhan, P., Khalifa, S. H. Eldiehy, Daimary, N., Gohain, M., Vaibhav, V. G., Deka, D., dan Mandal, M. 2022. Structural characterization of mixed rice straw and deoiled algal cake-based substrate as a potential bioenergy feedstock for microbial lipids and carotenoid production. *Waste and Biomass Valorization* 13(1): 195–212.
- Baruah, J., Nath, B. K., Sharma, R., Kumar, S., Deka, R. C., Baruah, D. C., dan Kalita, E. 2018. Recent trends in the pretreatment of lignocellulosic biomass for value-added products. *Frontiers in Energy Research* 6(12).
- Basak, B., Kumar, R., Sai Bharadwaj A. V. S. L., Kim, T. H., Kim, J. R., Jang, M., Oh, S. E., Roh, H. S., dan Jeon, B. H. 2023. Advances in physicochemical pretreatment strategies for lignocellulose biomass and their effectiveness in bioconversion for biofuel production. *Bioresource Technology* 369.
- Binod, P., Satyanagalakshmi, K., Sindhu, R., Janu, K. U., Sukumaran, R. K., dan Pandey, A. 2012. Short duration microwave assisted pretreatment enhances the enzymatic saccharification and fermentable sugar yield from sugarcane bagasse. *Renewable Energy* 37(1): 109–16.
- Birinci, Emre, Mehmet Karamanoglu, Haci İsmail Kesik, and Alperen Kaymakci. 2022. “Effect of Heat Treatment Parameters on the Physical, Mechanical, and Crystallinity Index Properties of Scots Pine and Beech Wood. *BioResources* 17(3): 4713–29. doi:10.15376/biores.17.3.4713-4729.
- Bisswanger, H. 2017. PH and temperature dependence of enzymes. *Enzyme Kinetics*: 145–52.
- BPS. 2024. Statistik Karet Indonesia 2023. *Badan Pusat Statistik* 17.
- Charnnok, B., Sawangkeaw, R., dan Chaiprapat, S. 2020. Integrated process for the production of fermentable sugar and methane from rubber wood. *Bioresource Technology* 302.
- Cheah, W. Y., Sankaran, R., Show, P. L., Baizura, Tg. N., Ibrahim, Tg., Chew, K. W., Culaba, A., dan Chang, J. S. 2020. Pretreatment methods for

- lignocellulosic biofuels production. *Biofuel Research Journal* 7(1): 1115–27.
- Chin, K. L., P. S. H'ng, L. J. Wong, B. T. Tey, and M. T. Paridah. 2011. Production of glucose from oil palm trunk and sawdust of rubberwood and mixed hardwood. *Applied Energy* 88(11): 4222–28.
- Dabkowska, K. 2020. Efficiency of corn and poplar biomass saccharification after pretreatment with potassium hydroxide. *Ecological Chemistry and Engineering S* 27(1): 41–53.
- Efrinalia, W., Novia, N., dan Melwita, E. 2022. Kinetic model for enzymatic hydrolysis of cellulose from pre-treated rice husks. *Fermentation* 8(9).
- Ethaib, S., Omar, R., Kamal, S. M. M., dan Biak, D. R. A. 2014. Journal of engineering science and technology special issue on some *microwave-assisted pretreatment of lignocellulosic biomass: a review*.
- Falaah, M., dan Kusumayanti, H. 2021. Proses fermentasi pada produksi bioetanol dedak padi dengan hidrolisis enzimatis. *Metana* 17(2): 81–87.
- Farhat, W., Venditti, R.A., Hubbe, Martin., Taha, M., Becquart, F., dan Ayoub, A. 2017. A review of water-resistant hemicellulose-based materials: processing and applications. *ChemSusChem* 10(2): 305–23.
- Fernandes, D., De Souza, E. S., Carneiro, L. M., Silva, J. P. A., De Souza, J. V. B., dan Da Silva Batista, J. 2022. Current ethanol production requirements for the yeast *saccharomyces cerevisiae*. *International Journal of Microbiology*.
- Gazliya, N., dan Aparna, K. 2021. Microwave-assisted alkaline delignification of banana peduncle. *Journal of Natural Fibers* 18(5): 664–73.
- Göncü, B., Sarıışık G., dan Hoşgün, E. Z. 2025. Valorization of Lignocellulosic Feedstock in Bioethanol Production via Separate Hydrolysis and Fermentation: An Integrated Machine Learning Approach. *International Journal of Hydrogen Energy*.
- Guo, Z., Zhang Q., You, T., Zhang, X., Xu, F., dan Wu, Y. 2019. Short-time deep eutectic solvent pretreatment for enhanced enzymatic saccharification and lignin valorization. *Green Chemistry* 21(11): 3099–3108.
- Harahap, A. F. P., Husnil, Y. A., Ramadhana, M. Y. A., Sahlan, M., Hermansyah, H., Prasetya, B., dan Gozan, M. 2022. Effect of microwave pretreatment on some properties of bamboo (*gigantochloa apus*) for bioethanol production.

International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology 12(1): 365–71.

- Hassan, S. A., Ahmad, M. S., Samat, A. F., Zakaria, N. Z. I., Sohaimi, K. S. A., dan Nordin, N. 2018. Comparison of glucose yield from rubberwood sawdust (rsd), growth medium (gm), and mushroom spent medium (msm) under different sodium hydroxide pretreatment techniques. In *matec Web of Conferences*, EDP Sciences. 150.
- Ho, S. H., Zhang, C., Tao, F., Zhang, C., dan Chen, W. H. 2020. Microalgal torrefaction for solid biofuel production. *Trends in Biotechnology* 38(9): 1023–33.
- Hospodarova, V., Singovszka, E., dan Stevulova, N. 2018. Characterization of cellulosic fibers by ftir spectroscopy for their further implementation to building materials. *American Journal of Analytical Chemistry* 09(06): 303–10.
- Hossain, N., Mahlia, T. M. I., Miskat, M., Chowdhury, T., Barua, P., Chowdhury, H., Nizamuddin, S. 2021. Bioethanol production from forest residues and life cycle cost analysis of bioethanol-gasoline blend on transportation sector. *Journal of Environmental Chemical Engineering* 9(4).
- Hossain, N., Zaini, J. H., dan Mahlia, T. M.I. 2017. A review of bioethanol production from plant-based waste biomass by yeast fermentation. *International Journal of Technology* 8(1): 5–18.
- Huang, Y. F., Chiueh, P. T., Kuan, W. H., dan Lo, S. L. 2016. Microwave pyrolysis of lignocellulosic biomass: heating performance and reaction kinetics. *Energy* 100: 137–44.
- Inan, H., Turkey, O., dan Akkiris, C. 2016. Microwave and microwave-chemical pretreatment application for agricultural waste. *Desalination and Water Treatment* 57(6): 2590–96.
- Israelachvili, J. N. 2011. Interactions ~~i~~Involving ~~p~~Polar ~~m~~Molecules.—In *Intermolecular and Surface Forces*, ~~Elsevier~~, 71–90.
- Kashaninejad, M., dan Tabil, L. G. 2011. The influence of potassium hydroxide concentration and reaction time on the extraction cellulosic jute fibers. *Biosystems Engineering* 108(1): 36–45.
- Kataoka, L. F., Falla, M. H. D. P., dan Da Luz, S. M. 2022. The influence of

- potassium hydroxide concentration and reaction time on the extraction cellulosic jute fibers. *Journal of Natural Fibers* 19(13): 6889–6901.
- El Khaled, D., Novas, N., Gazquez, J. A., dan F. Agugliaro, M. 2018. Microwave dielectric heating: applications on metals processing. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 82(October): 2880–92.
- Kim, D. 2018. physico-chemical conversion of lignocellulose: inhibitor effects and detoxification strategies: a mini review. *Molecules* 23(2).
- Kim, J. S., Lee, Y. Y., dan Kim, T. H. 2016. A review on alkaline pretreatment technology for bioconversion of lignocellulosic biomass. *Bioresource Technology* 199: 42–48.
- Kolo, S. M. D., Wahyuningrum, D., dan Hertadi, R. 2020. The effects of microwave-assisted pretreatment and cofermentation on bioethanol production from elephant grass. *International Journal of Microbiology* 2020.
- Kroll, A., Rousset, Y., Hu, X. P., Liebrand, N. A., dan Lercher, M. J. 2023. Turnover number predictions for kinetically uncharacterized enzymes using machine and deep learning. *Nature Communications* 14(1): 1–14.
- Kuai, B., Xu, Q., Zhan, T., Lv, J., Cai, Li., Gong, M., dan Zhang, Y. 2024. Development of super dimensional stable poplar structure with fire and mildew resistance by delignification/densification of wood with highly aligned cellulose molecules. *International Journal of Biological Macromolecules* 257: 128572.
- Kumar, A. K., dan Sharma, S. 2017. Recent updates on different methods of pretreatment of lignocellulosic feedstocks: a review. *Bioresources and Bioprocessing* 4(1).
- Larasati, I. A., Argo, B. D., dan Hawa, L. C. 2019. Proses delignifikasi kandungan lignoselulosa serbuk bambu betung dengan variasi naoh dan tekanan. *Jurnal Keteknik Pertanian Tropis dan Biosistem* 7(3): 235–44.
- Li, R., Sun, F., Wang, W., Tang, J., Peng, H., Li, Z., Jiang, J. 2025. Effect of delignification on shrinking and swelling of poplar wood assessed using digital image correlation technique. *International Journal of Biological Macromolecules* 289. 138851.
- Lileev, A. S., Loginova, D. V., dan Lyashchenko, A. K. 2011. Microwave dielectric

- properties of potassium hydroxide aqueous solutions. *Russian Journal of Inorganic Chemistry* 56(6): 961–67.
- Liu, Z., Sun, X., Hao, M., Huang, C., Xue, Z., dan Mu, T. 2015. Preparation and characterization of regenerated cellulose from ionic liquid using different methods. *Carbohydrate Polymers* 117: 54–62.
- Liu, J., Wang, C., Zhao, X., Yin, F., Yang, H., Wu, K., Liang, C., Yang, B., Zhang, W. [2023. Bioethanol production from corn straw pretreated with deep eutectic solvents. *Electronic Journal of Biotechnology*, 62, 27–35.](#)
- Lu, A., Yu, X., Chen, L., dan Okonkwo, C. E., Otu, P., Zhou, C., Lu, Q., dan Sun, Q. 2023. Development of novel ternary deep eutectic pretreatment solvents from lignin-derived phenol, and its efficiency in delignification and enzymatic hydrolysis of peanut shells. *Renewable Energy* 205: 617–26.
- Maceiras, R., Alfonsín, V., Seguí, L., dan González, J. F. 2021. Microwave assisted alkaline pretreatment of algae waste in the production of cellulosic bioethanol. *Energies* 14(18).
- Mankar, A. R., Pandey, A., Modak, A., dan Pant, K. K. 2021. Pretreatment of lignocellulosic biomass: a review on recent advances. *Bioresource Technology* 334. 125235.
- Manochio, C., Andrade, B. R., Rodriguez, R. P., dan Moraes, B. S. 2017. Ethanol from biomass: a comparative overview. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 80: 743–55.
- Mascarenhas, M., Dighton, J., dan Arbuckle, G. A. 2000. Characterization of plant carbohydrates and changes in leaf carbohydrate chemistry due to chemical and enzymatic degradation measured by microscopic atr ft-ir spectroscopy. *Applied Spectroscopy* 54(5): 681–86.
- Moysés, D. N., Reis, V. C. B., de Almeida, J. R. M., de Moraes, L. M. P., dan Torres, F. A. G. 2016. Xylose fermentation by *saccharomyces cerevisiae*: challenges and prospects. *International Journal of Molecular Sciences* 17(3): 1–18.
- Mutturi, S., Palmqvist, B., dan Lidén, G. 2014. Developments in bioethanol fuel-focused biorefineries. *Advances in Biorefineries: Biomass and Waste Supply Chain Exploitation*, 259–302.

- Novia, N., Melwita, E., Selpian, S., Deviyana, N. H., dan Viola, V. 2023. Hidrolisis enzimatis selulosa sekam padi menggunakan crude enzim dari *aspergillus niger* untuk produksi bioetanol. *Litbang Industri* 13: 161–67.
- Novia, N., Pareek, V. K., Emilia, T. 2017. Bioethanol production from sodium hydroxide-dilute sulfuric acid pretreatment of rice husk via simultaneous saccharification and fermentation. *Mateconference*, 02013.
- Novia, N., Syaputra, A. A., Ariva, H., Arya, S., Yuliantika, V., Setyawan, D., Selpiana, S., dan Hasanudin, H. 2025. Pretreatment of corn cobs using hydrogen peroxide-microwave assisted to enhance enzymatic hydrolysis. *Renewable Energy* 241.122311.
- Novia, N., Said, M., Jannah, A. M., Pebriantoni, P., Bayu, M. 2020. Aqueous ammonia soaking-dilute acid pretreatment to produce bioethanol from rice hull. *TRKU*, 62(03).
- Novia, Wijaya, D., dan Yanti, P. 2017. Pembuatan bioetanol dari sekam padi. *Teknik Kimia* 23(1): 19–27.
- Paixão, S. M., Ladeira, S. A., Silva, T. P., Arez, B. F., Roseiro, J. C., Martins, M. L.L., dan Alves, L. 2016. Sugarcane bagasse delignification with potassium hydroxide for enhanced enzymatic hydrolysis. *RSC Advances* 6(2): 1042–52.
- Parapouli, M., Vasileiadis, A., Afendra, A. S., dan Hatziloukas, E. 2020. Microbiology *saccharomyces cerevisiae* and its industrial applications. *AIMS Microbiology*, 6 (1): 1–31.
- Pratama, D., Anwar, K., Alfi, A., dan Yusniwati, Y. 2021. Delignification of lignocellulosic biomass. *World Journal of Advanced Research and Reviews* 12(2): 462–69.
- Punia, P., dan Singh, L. 2024. Optimization of alkali pre-treatment of sweet sorghum [*sorghum bicolor (l.) moench*] residue to improve enzymatic hydrolysis for fermentable sugars. *Waste Management Bulletin* 2(1): 131–41.
- Purwadi, R dan Lestari, R. 2024. *Pengembangan Industri Berbasis Lignoselulosa*. ITB Press.
- Rahmawati, A. Y., dan Sutrisno, A. 2015. Hidrolisis tepung ubi jalar ungu (*ipomea batatas l.*) secara enzimatis menjadi sirup glukosa fungsional: kajian pustaka. *Jurnal Pangan dan Agroindustri* 3(3): 1152–59.

- Ratnayani, K., Laksmiwati, A. A. I. Mayun, A., dan Sudiarto, M. 2015. Penentuan laju reaksi maksimal (v_{maks}) dan konstanta michaelis-menten (K_m) enzim lipase pankreas pada substrat minyak kelapa, minyak sawit, dan minyak zaitun. *Kimia* : 93–97.
- Ristianingsih, Y., Lestari, I., dan Wulanandari, W. 2021. Pektin biosorben. *LPPM UPN Veteran Yogyakarta*.
- Rezania, S., Bahareh O., Cho, J., Talaiekhosani, A., Sabbagh, F., Hashemi, B., Rupani, P. F., dan Mohammad, A. A. 2020. Different pretreatment technologies of lignocellulosic biomass for bioethanol production: an overview. *Energy*, 199. 117457.
- Sakimoto, K., Kanna, M., dan Matsumura, Y. 2017. Kinetic model of cellulose degradation using simultaneous saccharification and fermentation. *Biomass and Bioenergy* 99: 116–21.
- Samara, F. S., Novia, N., dan Melwita, E. 2024. Enzymatic hydrolysis of cellulose banana stem. *Journal of Integrated and Advanced Engineering (JIAE)* 4(1): 21–30.
- Shi, Z., Xu, G., Deng, J., Dong, M., Murugadoss, V., Liu, C., Shao, Q., Wu, S., dan Guo, Z. 2019. Structural characterization of lignin from *D. sinicus* by ftir and nmr techniques. *Green Chemistry Letters and Reviews* 12(3): 235–43.
- Soccol, C. R., Faraco, V., Karp, S. G., Vandenberghe, L. P. S., Soccol, V. T., Woiciechowski A. L., dan Pandey, A. 2019. Lignocellulosic Bioethanol: Current Status and Future Perspectives. *Biofuels: Alternative Feedstocks and Conversion Processes for the Production of Liquid and Gaseous biofuels*, (3). 331-354.
- Subhedar, P. B., dan Gogate, P. R. 2014. Alkaline and ultrasound assisted alkaline pretreatment for intensification of delignification process from sustainable raw-material. *Ultrasonics Sonochemistry* 21(1): 216–25.
- Surhaini, S., Indriyani, S., dan Mursalin. 2016. Kajian mutu pektin dari kulit durian selat dan aplikasi pada pengolahan jeli nenas tangkit. *Prosiding seminar nasional forum komunikasi pendidikan tinggi teknologi pertanian indonesia*.
- Sukai, dan Kana, G. 2018. Microwave-assisted alkaline salt pretreatment of corn cob wastes: process optimization for improved sugar recovery.” *Industrial Crops*

- and Products* 125(May): 284–92.
- Sukai, Y., dan Gueguim Kana, E. B. 2018. Simultaneous saccharification and bioethanol production from corn cobs: Process optimization and kinetic studies. *Bioresource Technology*, 262, 32–41.
- Sun, Y., dan Cheng, J. 2002. Hydrolysis of lignocellulosic materials for ethanol production: a review. *Bioresource Technology* 83(1): 1–11.
- Sweygers, N., Harrer, J., Dewil, R., dan Appels, L. 2018. A microwave-assisted process for the in-situ production of 5-hydroxymethylfurfural and furfural from lignocellulosic polysaccharides in a biphasic reaction system. *Journal of Cleaner Production* 187: 1014–24.
- Tse, T. J., Wiens, D. J., dan Reaney, M. J. T. 2021. Production of bioethanol—a review of factors affecting ethanol yield. *Fermentation* 7(4).
- Uchôa, P. Z., Porto, R. C. T., Battisti, R., Marangoni, C., Sellin, N., Souza, O. 2021. Ethanol from residual biomass of banana harvest and commercialization: A three-waste simultaneous fermentation approach and a logistic-economic assessment of the process scaling-up towards a sustainable biorefinery in Brazil. *Industrial Crops and Products*, 174.
- Uljanah, D., Melwita, E., dan Novia, N. 2024. Bioethanol fermentation from banana pseudostems waste (*musa balbisiana*) pretreated with potassium hydroxide microwave. *Journal of Ecological Engineering* 25(9): 1–13.
- Veluchamy, C., Kalamdhad, A. S., dan Gilroyed, B. H. 2018. Advanced pretreatment strategies for bioenergy production from biomass and biowaste. *Handbook of Environmental Materials Management*, Springer International Publishing, 1–19.
- de Vrije, T., Dussan, K., van de Vondervoort, R. H. A. M., Veloo, R. M., Bonouvrie, P. A., Smit, A. T., dan López-Contreras, A. M. 2024. Bioethanol production from organosolv treated beech wood chips obtained at pilot scale. *Biomass and Bioenergy* 181.
- Wang, W., Wang, X., Zhang, Y., Yu, Q., Tan, X., Zhuang, X., dan Yuan, Z. 2020. Effect of sodium hydroxide pretreatment on physicochemical changes and enzymatic hydrolysis of herbaceous and woody lignocelluloses. *Industrial Crops and Products* 145.

- Wati, L. A., Selpiana, S., Novia, N. 2025. Enhance Enzymatic Hydrolysis of Rubberwood. *Journal Applied Material and Tech*, 6(2): 58–63.
- Wirawan, F., Cheng, C. L., Lo, Y. C., Chen, C. Y., Chang, J. S., Leu, S. Y., Lee, D. J. 2020. Continuous cellulosic bioethanol co-fermentation by immobilized *Zymomonas mobilis* and suspended *Pichia stipitis* in a two-stage process. *Applied Energy*, 266(03), 114871.
- Weng, X., Zhou, Y., Fu, Z., Gao, X., Zhou, F., dan Jiang, J. 2021. Effects of microwave pretreatment on drying of 50 mm-thickness chinese fir lumber. *Journal of Wood Science* 67(1).
- Wojtusik, M., Juan C., Villar, M. L., dan Ochoa, F. G. 2018. Physico-chemical kinetic modelling of hydrolysis of a steam-explosion pre-treated corn stover: a two-step approach. *Bioresource Technology* 268: 592–98.
- Wu, J., Dong, Y., Zhang, H., Liu, J., Renneckar, S., dan Saddler, J. 2023. Reduced cellulose accessibility slows down enzyme-mediated hydrolysis of cellulose. *Bioresource Technology* 371.
- Yang, B., Wu, Y., Wu, X., Hao, J., Li, X., dan Hao, X. 2024. Corrigendum to “lightweight reinforced wood beams through compression of its surface layers combined with the removal of lignin and hemicellulose. *International Journal of Biological Macromolecules* 265.
- Yu, N., Tan, L., Sun, Z. Y., Nishimura, H., Takei, S., Tang, Y. Q., Kida, K. 2018. Bioethanol from sugarcane bagasse: Focused on optimum of lignin content and reduction of enzyme addition. *Waste Management*, 76, 404–413.
- Zahoor, W. W., Tan, X., Imtiaz, Mu., Wang, Q., Miao, C., Yuan, Z., dan Zhuang, X. 2021. Rice straw pretreatment with koh/urea for enhancing sugar yield and ethanol production at low temperature. *Industrial Crops and Products* 170: 113776.
- Zhai, R., Hu, J., dan Saddler, J. N. 2016. What are the major components in steam pretreated lignocellulosic biomass that inhibit the efficacy of cellulase enzyme mixtures?” *ACS Sustainable Chemistry and Engineering* 4(6): 3429–36.
- Zhang, Q., Lian, Z., Zhou, X., dan Xu, Y. 2023. Kinetic studies and predictions for xylo-oligosaccharide production by acidic hydrolysis of xylan with various acids. *Fuel* 333(159).

- Zhao, L., Sun, Z. F., Zhang, C., Nan, J., Ren, N. Q., Lee, D. J., dan Chen, C. 2022. Advances in pretreatment of lignocellulosic biomass for bioenergy production: challenges and perspectives. *Bioresource Technology* 343: 126123.
- Zhong, L., Wang, C., Yang, G., Chen, J., Xu, F., Yoo, C. G., dan Lyu, G. 2022. Rapid and efficient microwave-assisted guanidine hydrochloride deep eutectic solvent pretreatment for biological conversion of castor stalk. *Bioresource Technology* 343.
- Zhou, X., Li, W., Mabon, R., dan Broadbelt, L. J. 2017. A critical review on hemicellulose pyrolysis. *Energy Technology* 5(1): 52–79.