

TESIS

HIDROLISIS ENZIMATIK SELULOSA DARI LIMBAH SERBUK KAYU KARET YANG DIBERI PRAPERLAKUAN *ALKALIN MICROWAVE-ASSISTED*



MUHAMAD RIDWAN
03012622428003

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

TESIS

HIDROLISIS ENZIMATIK SELULOSA DARI LIMBAH SERBUK KAYU KARET YANG DIBERI PRAPERLAKUAN *ALKALIN MICROWAVE-ASSISTED*

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



**MUHAMAD RIDWAN
03012622428003**

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

HALAMAN PENGESAHAN

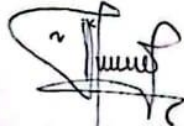
**HIDROLISIS ENZIMATIK SELULOSA DARI LIMBAH
SERBUK KAYU KARET YANG DIBERI
PRAPERLAKUAN *ALKALIN MICROWAVE-ASSISTED***

TESIS

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

Palembang, Juli 2025

Pembimbing I,



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

Pembimbing II,



Dr. Ir. Selpiana, S.T., M.T.
NIP. 197505112000122001

Mengetahui,

**Dekan Fakultas Teknik
Universitas Sriwijaya**



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

Ketua Jurusan



Dr. Tuti Indan Sari, S.T., M.T., IPM
NIP. 197501012000122001

HALAMAN PERSETUJUAN

Karya tulis ilmiah berupa Laporan Tesis ini dengan judul "Hidrolisis Enzimatis Selulosa dari Limbah Serbuk Kayu Karet yang diberi Praperlakuan *Alkaline Microwave-Assisted*" telah dipertahankan di hadapan Tim Penguji Karya Tulis Ilmiah Program Studi Magister Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya pada 22 Juli 2025.

Palembang, 22 Juli 2025

Tim Penguji Karya Tulis Ilmiah berupa Laporan Tesis

Ketua :

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

NIP. 195805141984031001

22 Juli 2025

()

Anggota :

1. Dr. Nina Haryani, S.T., M.T.

NIP. 198311152008122002

22 Juli 2025

()

2. Ir. Tine Aprianti, S.T., M.T., Ph.D

NIP. 198204252023212029

22 Juli 2025

()

Mengetahui,

Dekan Fakultas Teknik
Universitas Sriwijaya,



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

✓ Ketua Jurusan


NIP. 197502012000122001

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

HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Muhamad Ridwan

NIM : 03012622428003

Judul : Hidrolisis Enzimatik Selulosa dari Limbah Serbuk Kayu Karet
yang diberi Praperlakuan *Alkaline Microwave-Assisted*.

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, Juli 2025

Yang Membuat Pernyataan,



Muhamad Ridwan

NIM. 03012622428003

RINGKASAN

HIDROLISIS ENZIMATIK SELULOSA DARI LIMBAH SERBUK KAYU KARET YANG DIBERI PRAPERLAKUAN *ALKALIN MICROWAVE-ASSISTED*.

Karya tulis ilmiah berupa Tesis, Juli 2025

Muhamad Ridwan, Dibimbing oleh Prof. Ir. Novia, S.T., M.T., Ph.D dan Dr. Ir. Selpiana, S.T., M.T.

Improving the enzymatic hydrolysis of rubberwood sawdust wastes pretreated by microwave-assisted alkalin pretreatment.

X + 57 halaman, 8 Tabel, 18 Gambar, 4 Lampiran

RINGKASAN

Serbuk gergaji kayu karet mengandung selulosa, yang berfungsi sebagai bahan baku untuk produksi bioetanol. Selulosa dari kayu karet yang telah diolah terlebih dahulu ditransformasikan menjadi gula pereduksi melalui hidrolisis enzimatik menggunakan enzim yang berasal dari *Aspergillus niger*. Penelitian ini bertujuan untuk mengklarifikasi kinetika hidrolisis enzimatik selama durasi hidrolisis 5, 10, 15, 20, dan 25 jam pada rasio enzim terhadap substrat 1:20, 2:20, 3:20, 4:20, 5:20, dan 6:20 (v/b). Hasil penelitian menunjukkan bahwa, pada rasio enzim terhadap substrat 6:20 (v/b) dan waktu hidrolisis 25 jam, jumlah maksimum gula pereduksi adalah sekitar 3,15 g L⁻¹. Aktivitas FPase adalah 255,1672 U mL⁻¹, sedangkan aktivitas CMCase mencapai 235,9105. Model kinetik Michaelis–Menten menyatakan bahwa laju maksimum berkisar antara $6,50 \times 10^{-7}$ hingga $2,6 \times 10^{-6}$ Mol L⁻¹ s⁻¹, dan laju reaksi menghasilkan konstanta Michaelis antara 0,0051 dan 0,0055.

Kata Kunci: Kinetika hidrolisis enzimatik, Model Michaelis-Menten, *Pretreatment Alkali Microwave-Assisted*, Serbuk kayu karet, Gula reduksi.

Kepustakaan: 32 (2018-2025)

SUMMARY

IMPROVING THE ENZYMATIC HYDROLYSIS OF RUBBERWOOD SAWDUST WASTES PRETREATED BY MICROWAVE-ASSISTED ALKALINE PRETREATMENT

Scientific paper in the form of Thesis, July 2025

Muhamad Ridwan, Supervised by Prof. Ir. Novia, S.T., M.T., Ph.D. and Dr. Ir. Selpiana, S.T., M.T.

Hidrolisis Enzimatis Selulosa dari Limbah Serbuk Kayu Karet yang diberi Praperlakuan *Alkalin Microwave-Assisted*.

x + 57 Pages, 8 Tables, 18 Pictures, 4 Appendix

SUMMARY

Rubberwood sawdust comprises cellulose, serving as a feedstock for bioethanol production. Cellulose from pretreated rubberwood was transformed to reducing sugars by enzymatic hydrolysis via a crude enzyme sourced originate from *Aspergillus niger*. This study aims to clarify the kinetics of enzymatic hydrolysis during hydrolysis durations of 5, 10, 15, 20, and 25 hours at enzyme-to-substrate ratios of 1:20, 2:20, 3:20, 4:20, 5:20, and 6:20 (v/w). The results showed that, at an enzyme-to-substrate ratio of 6:20 (v/w) and a hydrolysis time of 25 hours, the maximum quantity of reducing sugars was approximately 3.15 g L⁻¹. The FPase activity was 255.1672 U mL⁻¹, whereas the CMCase activity reached 235.9105. The Michaelis–Menten kinetic model states that the maximum rate ranges from 6.50×10^{-7} to 2.6×10^{-6} Mol L⁻¹ s⁻¹, and the reaction rate produces a Michaelis constant between 0.0051 and 0.0055.

Keywords: enzymatic hydrolysis kinetics, Michaelis-Menten model, microwave-assisted alkaline pretreatment, rubberwood sawdust, reducing sugar.

Citations: 32 (2018-2025)

KATA PENGANTAR

Puji syukur yang sedalam-dalamnya penulis panjatkan kehadirat Tuhan Yang Maha Esa atas segala berkat dan limpahan rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan tesis dengan judul **“HIDROLISIS ENZIMATIK SELULOSA DARI LIMBAH SERBUK KAYU KARET YANG DIBERI PRAPERLAKUAN *ALKALIN MICROWAVE ASSISTED*”**.

Tujuan dari penulisan dan pembuatan tesis ini adalah untuk memenuhi syarat dalam mencapai gelar Magister Teknik (M.T) pada Program Studi Pasca Sarjana Universitas Sriwijaya.

Saya mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang terlibat. Laporan tesis ini tidak akan selesai tanpa bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, ucapan terima kasih diberikan penulis kepada:

1. Seluruh keluarga besar terutama kedua Orang Tua yang selalu memberikan do'a, support dan ridho kepada penulis.
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 juga sebagai Pembimbing tesis ke-2 yang selalu support, membimbing serta arahan sampai pengerjaan tesis lancar dan selesai.
5. Prof. Dr. Ir. Novia, S.T., M.T., Ph.D, selaku dosen Pembimbing ke-1 yang selalu support, membimbing serta arahan sampai pengerjaan tesis lancar dan selesai.
6. Prof. Dr. Ir. H. M. Faizal, DEA, Dr. Nina Haryani, S.T., M.T dan Ir. Tine Aprianti, S.T., M.T., Ph.D, selaku penguji tesis dan juga turut serta dalam membantu, mengarahkan juga memberikan ilmu agar tesis ini menjadi lebih baik.
7. PT. Sumatera Prima Fibreboard yang telah berkenan menerima penulis untuk melaksanakan penelitian dengan memanfaatkan limbah yang ada di perusahaan.
8. Restu Larassyah A.P., S.E selaku Admin Prodi Magister Teknik Kimia Universitas Sriwijaya.

9. Winta Efrinalia, S.T., M.T selaku analis Laboratorium Biokimia UPT Terpadu Universitas Sriwijaya yang telah memberikan arahan, bantuan semua yang ada di dalam Laboratorium.
10. Kepala Laboratorium UPT Terpadu Universitas Sriwijaya yang memberikan izin, akses dan juga memfasilitasi penelitian di Laboratorium.
11. Ir. H. Abdul Hamid selaku Kepala Laboratorium Politeknik Akamigas Palembang yang telah memberikan izin dan juga memfasilitasi penelitian tersebut.
12. Teman-teman seperjuangan Magister Teknik Kimia 2024 semester genap, dan lingkungan kampus yang selalu memberikan support, motivasi selama proses belajar mengajar, penelitian dan sampai akhir dalam menyelesaikan ujian terakhir.

Penulis menyadari masih ada kekurangan dalam penulisan maupun penyampaian dalam tesis yang telah dibuat. Maka dari itu sebagai penulis memohon maaf apabila ada kesalahan dalam penulisan nama dan gelar serta jika ada kekeliruan dalam penyelesaian laporan tesis ini. Demikianlah yang bisa penulis sampaikan, saya ucapkan terimakasih.

Palembang, Juli 2025

Muhamad Ridwan

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
HALAMAN PERSETUJUAN	iii
HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS	iv
RINGKASAN	v
SUMMARY	vi
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR ISTILAH DAN SINGKATAN	xv
DAFTAR SIMBOL	xvi
BAB I	1
PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Hipotesa	4
1.5 Ruang Lingkup Penelitian	4
1.6 Manfaat Penelitian	5
BAB II	6
TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Tanaman Karet	6
2.2 Bioetanol.....	6
2.3 Lignoselulosa	8
2.4 <i>Pre-treatment</i> Lignoselulosa	11
2.5 <i>Pre-treatment</i> dengan Alkali	11

2.6	<i>Pre-treatment dengan Microwave</i>	11
2.7	Hidrolisis Enzimatik	15
2.8	Teknik Fermentasi	16
	2.8.1 <i>Separate Hydrolisis and Fermentation (SHF)</i>	16
	2.8.2 <i>Simultaneous Saccharification and Fermentation (SSF)</i>	16
2.9	Kinetika Hidrolisis	17
2.10	Fermentasi Gula	19
2.111	Penelitian Terdahulu	19
BAB III		24
METODOLOGI PENELITIAN		24
3.1	Waktu dan Tempat Penelitian	24
3.2	Bahan dan Peralatan Penelitian	24
	3.2.1 Peralatan Penelitian	24
	3.2.2 Bahan Penelitian	25
3.3	Rancangan Penelitian	26
	3.3.1 Variabel dan Matriks Penelitian	26
3.4	Tahapan Penelitian	26
	3.4.1 Preparasi Material Serbuk Kayu Karet	26
	3.4.2 <i>Pretreatment KOH-Microwave Assisted</i>	26
	3.4.3 Pembuatan Enzim Selulase dari <i>Aspergillus Niger</i>	27
	3.4.4 Hidrolisis Enzimatik	27
	3.4.5 Diagram Alir Penelitian	28
3.5	Metode Pengolahan dan Analisa Data	29
	3.5.1 Karakterisasi Komposisi Serbuk Kayu Karet	29
	3.5.2 Analisis Gula	30
3.6	Jadwal Penelitian	30

BAB IV	31
HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN	31
4.1 <i>Pretreatment</i> Serbuk Kayu Karet	31
4.1.1 Karakterisasi Komponen Lignoselulosa	31
4.1.2 Analisis Morfologi Serbuk Kayu Karet	33
4.1.3 Karakterisasi Sampel dengan <i>Fourier Transform Infrared</i> <i>Spectroscopy</i>	36
4.1.4 Analisis XRD (<i>X-Ray Diffraction</i>).....	37
4.2 Produksi Gula Reduksi dari Serbuk Kayu Karet setelah <i>Pretreatment</i>	38
4.2.1 Hidrolisis Enzimatik	38
4.2.2 Aktivitas Enzim	39
4.3 Kinetika Hidrolisis Enzimatik	40
BAB V	47
5.1 Kesimpulan	47
5.2 Saran	47
DAFTAR PUSTAKA	48
LAMPIRAN	51

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Perbandingan efisiensi bioetanol dari kelapa sawit, kayu karet dan campuran kayu keras.....	7
Tabel 2. 2 Fitur karakteristik selulosa, hemiselulosa dan lignin	10
Tabel 2. 3 Perbandingan Pemanasan <i>Microwave</i> Perbandingan dengan Pemanasan Konvensional	14
Tabel 3. 3 Jadwal penelitian	30
Tabel 4.1 Karakterisasi Serbuk Kayu Karet Sebelum dan Sesudah <i>Pretreatment</i>	32
Tabel 4.2 Perbandingan Komponen Serbuk Kayu Karet Sebelum <i>Pretreatment</i> dan Setelah <i>Pretreatment</i>	35
Tabel 4.3 Nilai Konstanta Kinetik Setiap Hidrolisis Enzimatik	45

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Kayu Karet Log	9
Gambar 2. 2 Struktur selulosa, hemiselulosa dan lignin	9
Gambar 2. 3 Kultur <i>Aspergillus niger</i> pada PDA	16
Gambar 3. 1 <i>Pretreatment</i> Serbuk Kayu Karet	28
Gambar 3. 2 Hidrolisis Enzimati	28
Gambar 4. 1 Tahapan <i>Pretreatment</i> Serbuk Kayu Karet dengan 5% (b/v)	
KOH <i>Microwave</i> 25 menit	31
Gambar 4. 2 Ilustrasi Setelah Deligfinikasi	33
Gambar 4. 3 Morfologi Serbuk Kayu Karet	34
Gambar 4. 4 Analisis FTIR pada Sampel Sebelum <i>Pretreatment</i> dan Setelah	
<i>Pretreatment</i>	36
Gambar 4. 5 Pola Analisis XRD pada Serbuk Kayu Karet Sebelum dan	
Sesudah <i>Pretreatment</i>	37
Gambar 4. 6 Pengaruh Waktu Hidrolisis terhadap Gula Reduksi 5% (b/v)	
KOH	38
Gambar 4. 7 Pembuatan <i>Crude</i> Enzim Selulase	39
Gambar 4. 8 Hubungan antara $[P]/\ln\{[P]_{\infty}/([P]_{\infty} - [P])\}$ and	
$[E]0.t/\ln\{[P]_{\infty}/([P]_{\infty} - [P])\}$ pada perbandingan enzim	
terhadap kayu karet 1 ml : 20 gr serbuk kayu karet	41
Gambar 4. 9 Hubungan antara $[P]/\ln\{[P]_{\infty}/([P]_{\infty} - [P])\}$ and	

$[E]_0.t/\ln\{[P]_{\infty}/([P]_{\infty} - [P])\}$ pada perbandingan enzim

terhadap kayu karet 2 ml : 20 gr serbuk kayu karet 41

Gambar 4.10 Hubungan antara $[P]/\ln\{[P]_{\infty}/([P]_{\infty} - [P])\}$ and

$[E]_0.t/\ln\{[P]_{\infty}/([P]_{\infty} - [P])\}$ pada perbandingan enzim

terhadap kayu karet 3 ml : 20 gr serbuk kayu karet 42

Gambar 4.11 Hubungan antara $[P]/\ln\{[P]_{\infty}/([P]_{\infty} - [P])\}$ and

$[E]_0.t/\ln\{[P]_{\infty}/([P]_{\infty} - [P])\}$ pada perbandingan enzim

terhadap kayu karet 4 ml : 20 gr serbuk kayu karet 43

Gambar 4.12 Hubungan antara $[P]/\ln\{[P]_{\infty}/([P]_{\infty} - [P])\}$ and

$[E]_0.t/\ln\{[P]_{\infty}/([P]_{\infty} - [P])\}$ pada perbandingan enzim

terhadap kayu karet 5 ml : 20 gr serbuk kayu karet 43

Gambar 4.13 Hubungan antara $[P]/\ln\{[P]_{\infty}/([P]_{\infty} - [P])\}$ and

$[E]_0.t/\ln\{[P]_{\infty}/([P]_{\infty} - [P])\}$ pada perbandingan enzim

terhadap kayu karet 6 ml : 20 gr serbuk kayu karet 44

DAFTAR ISTILAH DAN SINGKATAN

DNA	<i>Deoxyribonucleic acid</i>
RNA	Asam ribonukleat
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>
XRD	<i>X-Ray Diffraction</i>
FTIR	<i>Fourier transform infrared spectroscopy</i>
Spektro-UV Vis	<i>Spektrofotometri Ultraviolet-Visible</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

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}
S	<i>Substrat (reaktan)</i>	<i>Mol/ml</i>
E	<i>Enzim (reaktan)</i>	<i>U/ml</i>
ES	<i>Substrat-enzim</i>	<i>mg/mL</i>
P	<i>Produk</i>	<i>mg/mL</i>
v	<i>Laju pembentukan produk</i>	s^{-1}
V_M	<i>Laju maksimum</i>	s^{-1}

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Penggunaan kayu karet yang telah mati sebagai bahan baku utama untuk memproduksi MDF yang saat treatment awal selalu menyisakan limbah serbuk kayu karet (*Hevea brasiliensis*) dalam jumlah yang besar. Limbah serbuk kayu karet yang dihasilkan pada tahun 2024 dalam dua *line* produksi sebesar 84.790,3 ton (PT.Sumatera Prima Fibreboard. 2024). Limbah biomassa lignoselulosa ini dinilai berpotensi untuk dimanfaatkan sebagai bahan baku utama produksi bioetanol berbasis generasi kedua. Menurut (Rezania dkk. 2020) biomassa lignoselulosa terdiri dari lignin, selulosa, dan hemiselulosa, beberapa ekstrak organik dan komponen anorganik, yang berubah menjadi abu setelah pembakaran. Semua komponen tersebut merupakan polimer kompleks yang secara alami sukar untuk dikonversi. Tantangan ekonomi produksi bahan bakar bioetanol berbasis selulosa tidak sekompetitif apabila dibandingkan dengan etanol yang berasal dari bahan baku berbasis gula dan pati. Oleh karena itu, sangat penting untuk fokus pada strategi pengurangan biaya untuk pembuatan bahan bakar berbasis selulosa lebih ekonomis.

Pretreatment dan hidrolisis adalah dua tahap dasar dalam produksi bioetanol berdasarkan biokonversi menjadi berbagai gula. Beberapa penelitian terdahulu melibatkan beberapa prosedur *pretreatment* untuk menghilangkan kandungan lignin pada biomassa lignoselulosa. Penggunaan energi dan biaya prosedur *pretreatment* juga diperlukan untuk menentukan kelayakan metode ini. Menurut (Novia dkk. 2022), *pretreatment* alkali secara positif mempengaruhi produk kayu dan menghilangkan gugus asetil dari hemiselulosa, serta memberikan inhibitor lebih sedikit pada kondisi operasi rendah daripada *pretreatment* asam. (Samara dkk. 2024) menyelidiki pengaruh alkali pada *pretreatment* bambu dalam kombinasi air panas dan NaOH pada 0,5-2% (b/v). KOH treatment telah terbukti efektif mengurangi kandungan lignin dalam biomassa lignoselulosa dan meningkatkan hasil gula secara keseluruhan. *Pretreatment* dengan kombinasi *microwave* dan alkali menggunakan berbagai bahan baku dapat menghasilkan kandungan glukosa yang lebih tinggi dan penghapusan lignin yang lebih signifikan dari larutan alkali (Anggriani dkk. 2023). Dibandingkan dengan prosedur konvensional, reaksi kimia yang dilakukan dalam

gelombang mikro biasanya lebih cepat, lebih ekonomis, dan lebih ramah lingkungan. Radiasi gelombang mikro lebih lanjut melengkapi pra-perawatan dengan menerapkan panas secara selektif ke struktur, secara efektif memecah struktur lignin. (Samara dkk. 2024) mempelajari hidrolisis enzimatis pada selulosa kayu karet yang telah diberi *pretreatment* dengan KOH berbantu *microwave* bahwa konsentrasi gula pereduksi tertinggi ($1,3 \text{ mg mL}^{-1}$) dicapai pada rasio substrat-ke-enzim 1: 1 dan durasi hidrolisis 45 jam. (Muharja dkk. 2021) mempelajari optimasi kondisi operasi delignifikasi alkaline dibantu *microwave* pada kulit buah kakao dengan ukuran partikel yang bervariasi antara 60-120 mesh. (Anggriani dkk. 2023) menggunakan ukuran partikel batang pisang 30 mesh dan 40 mesh. (Samara dkk. 2024) menyatakan bahwa ukuran partikel material dapat mempengaruhi luas kontak reaksi, sehingga penelitian mereka menggunakan variasi ukuran partikel. Selanjutnya dilakukan hidrolisis dan fermentasi secara terpisah.

Melanjutkan studi kinetika hidrolisis enzimatis menggunakan *crude* enzim *Aspergillus Niger* pada sekam padi yang telah diberi *pretreatment* (Efrinalia dkk. 2022). Hidrolisis enzimatis merupakan langkah penting yang memecah biomassa lignoselulosa menjadi gula yang dapat difermentasi, yang kemudian digunakan dalam proses fermentasi untuk menghasilkan bioetanol (Vasić dkk. 2021). Efisiensi konversi ini secara langsung memengaruhi hasil etanol secara keseluruhan. Pilihan metode hidrolisis berdampak signifikan pada efisiensi pelepasan gula. Metode konvensional seperti hidrolisis asam dan enzimatis umumnya digunakan, tetapi ada kebutuhan untuk alternatif yang kurang boros energi dan hemat biaya (Offei dkk. 2018).

Kinetika hidrolisis enzimatis sangat penting untuk menentukan biaya investasi reaktor, tetapi belum ada penelitian mengenai penggabungan *pretreatment* KOH dan *microwave* dilanjutkan dengan hidrolisis enzimatis menggunakan *Aspergillus niger* pada serbuk kayu karet. Studi ini berkontribusi pada sumber bahan bakar yang berkelanjutan dan terbarukan dengan mengoptimalkan pengolahan limbah serbuk kayu karet.

Menurut Qin dkk. (2024), proses fermentasi meningkatkan kandungan senyawa fenolik karena tindakan hidrolitik mikroba, yang dapat mengubah senyawa fenolik terikat menjadi bentuk bebas, sehingga meningkatkan bioavailabilitasnya. Proses ini dirancang agar hemat biaya, memungkinkan produksi produk sampingan yang berharga dan meningkatkan kelayakan ekonomi produksi bioetanol (Vasić dkk. 2021). Efisiensi proses fermentasi sebagian besar bergantung pada pemilihan organisme fermentasi yang dapat

secara efektif mengubah gula yang dilepaskan (heksosa, pentosa, dan gula alkohol) menjadi etanol (Offei dkk., 2018). Identifikasi organisme yang sesuai merupakan faktor pembatas utama dalam mencapai hasil etanol yang lebih tinggi.

Berdasarkan penjelasan tersebut, belum ada proses pembuatan gula dari biomassa serbuk kayu karet dan hidrolisis yang cepat dengan kondisi moderat supaya konsumsi energi rendah dan ramah lingkungan untuk produksi bioetanol. Oleh karena itu dibutuhkan penelitian lebih lanjut mengenai *KOH-microwave pretreatment* hidrolisis enzimatis berbahan baku serbuk kayu karet dan perhitungan kinetiknya. Diharapkan penelitian ini dapat menjadi inovasi dari pemanfaatan limbah serbuk kayu saat produksi *medium density fibreboard* pada PT. Sumatera Prima Fibreboard.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan analisis uraian diatas maka dirumuskan yaitu

1. Bagaimana pengaruh rasio substrat-enzim saat hidrolisis enzimatis terhadap produk gula serbuk kayu karet yang diberi praperlakuan *KOH Microwave-assisted*?
2. Bagaimana pengaruh waktu hidrolisis terhadap produk gula dari serbuk kayu karet yang diberi praperlakuan *KOH Microwave-assisted*.
3. Bagaimana perhitungan kinetika reaksi hidrolisis enzimatis proses konversi selulosa menjadi gula?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan yang hendak dicapai dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengkaji pengaruh rasio substrat-enzim saat hidrolisis enzimatis terhadap produk gula serbuk kayu karet yang diberi praperlakuan *KOH Microwave-assisted*
2. Mengkaji pengaruh waktu hidrolisis terhadap produk gula dari serbuk kayu karet yang diberi praperlakuan *KOH Microwave-assisted*.
3. Menentukan kinetika reaksi hidrolisis enzimatis proses konversi selulosa menjadi gula.

1.4 Hipotesa

Hipotesa dari penelitian ini adalah:

1. Biomassa diberi praperlakuan dapat meningkatkan reaksi hidrolisis enzimatik. Praperlakuan dapat mengurangi kadar lignin dan mengoptimalkan/meningkatkan kadar gula pereduksi yang dihasilkan (Novia dkk., 2025).
2. Rasio antara substrat dan enzim seperti selulase dari *Aspergillus niger* sangat mempengaruhi aktivitas enzim dan efisiensi hidrolisis, yang dapat menunjukkan bahwa rasio substrat terhadap enzim yang optimal dapat meningkatkan kadar gula pereduksi yang dihasilkan (Samara dkk., 2024).
3. Kinetika hidrolisis enzimatik dapat ditentukan dengan model konstanta Michaelis-Menten (Novia dkk., 2024).

1.5 Ruang Lingkup Penelitian

Beberapa manfaat yang ingin dicapai adalah:

1. Produk ini dapat diaplikasikan pada PT Sumatera Prima Fibreboard sebagai solusi dari pemberdayaan limbah serbuk kayu karet
2. Bagi peneliti diharapkan dapat digunakan untuk studi optimasi kondisi pada proses pembuatan bioetanol dari serbuk kayu karet ini.

1.6 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini:

1. Memberikan informasi tentang bagaimana konsentrasi enzim selulase dari *Aspergillus niger* mempengaruhi proses hidrolisis enzimatik dan menghasilkan produk gula pereduksi.
- 2 Memberikan informasi tentang hubungan antara waktu hidrolisis enzimatik dan jumlah produk gula pereduksi.

- 3 Limbah serbuk kayu karet dapat digunakan sebagai sumber bahan bakar alternatif.
- 4 Meningkatkan nilai jual serbuk kayu karet.

DAFTAR PUSTAKA

- Agu, O., Tabil, L., & Dumonceaux, T. (2017). Microwave-Assisted Alkali Pre-Treatment, Densification and Enzymatic Saccharification of Canola Straw and OatHull. *Bioengineering*, 4(4), 25. <https://doi.org/10.3390/bioengineering4020025>
- Ali Shah, T., Ali, S., Afzal, A., & Tabassum, R. (2018). *Effect of Alkali Pretreatment on Lignocellulosic Waste Biomass for Biogas Production* (Vol. 8, Nomor 3).
- Anggriani, U. M., Novia, N., Melwita, E., & 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. <https://doi.org/10.26555/chemica.v10i3.27329>
- Ardhiansyah, H., Dewi, R., Putri, A., & Kusumaningrum, M. (2023). *Comparison of Ultrasonic Wave Pretreatment and Microwave-KOH Combination Pretreatment in Producing Bioethanol Using Rice Husk Waste*. 21(2), 81–88.
- Asomaning, J., Haupt, S., Chae, M., & Bressler, D. C. (2018). Recent developments in microwave-assisted thermal conversion of biomass for fuels and chemicals. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 92(April 2017), 642–657. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.04.084>
- Bilskey, S. R., Olendorff, S. A., Chmielewska, K., & Tucker, K. R. (2020). A Comparative Analysis of Methods for Quantitation of Sugars during the Corn-to-Ethanol Fermentation Process. *SLAS Technology*, 25(5), 494–504. <https://doi.org/10.1177/2472630320908253>
- Charnnok, B., Sawangkeaw, R., & Chaiprapat, S. (2020). Integrated process for the production of fermentable sugar and methane from rubber wood. *Bioresource Technology*, 302. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.122785>
- Efrinalia, W., Novia, N., & Melwita, E. (2022a). Kinetic Model for Enzymatic Hydrolysis of Cellulose from Pre-Treated Rice Husks. *Fermentation*, 8(9). <https://doi.org/10.3390/fermentation8090417>
- Efrinalia, W., Novia, N., & Melwita, E. (2022b). Kinetic Model for Enzymatic Hydrolysis of Cellulose from Pre-Treated Rice Husks. *Fermentation*, 8(9). <https://doi.org/10.3390/fermentation8090417>
- Erawati, E., & Sari, C. A. (2021). Pembuatan bioetanol dari umbi ganyong (canna discolor) dengan metode solid state fermentation (SSF) Production bioethanol from

- canna tubers (*canna discolor*) with solid state fermentation (SSF) method. *Jurnal Teknik Kimia*, 27(2), 2721–4885. <https://doi.org/10.36706/jtk.v27i1.809>
- Harahap, A. F. P., Husnil, Y. A., Ramadhana, M. Y. A., Sahlan, M., Hermansyah, H., Prasetya, B., & 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), 365–371. <https://doi.org/10.18517/ijaseit.12.1.12156>
- Ho, S. H., Zhang, C., Tao, F., Zhang, C., & Chen, W. H. (2020). Microalgal Torrefaction for Solid Biofuel Production. *Trends in Biotechnology*, 38(9), 1023–1033. <https://doi.org/10.1016/j.tibtech.2020.02.009>
- Hossain, N., Zaini, J. H., & 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. <https://doi.org/10.14716/ijtech.v8i1.3948>
- Julfana Sutarno, R., Anita Zaharah, T., Idiawati, N., & Hadari Nawawi, J. H. (t.t.). HIDROLISIS ENZIMATIK SELULOSA DARI AMPAS SAGU MENGGUNAKAN CAMPURAN SELULASE DARI *Trichoderma reesei* DAN *Aspergillus niger*. *JKK*, 2(1), 52–57.
- Kim, Lee, Y. Y., & Tae Hyun, K. (2016). A review on alkaline pretreatment technology for bioconversion of lignocellulosic biomass. Dalam *Bioresource Technology* (Vol. 199, hlm. 42–48). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2015.08.085>
- Kolo, S. M. D., Wahyuningrum, D., & Hertadi, R. (2020). The Effects of Microwave-Assisted Pretreatment and Cofermentation on Bioethanol Production from Elephant Grass. *International Journal of Microbiology*, 2020. <https://doi.org/10.1155/2020/6562730>
- Kuai, B., Xu, Q., Zhan, T., Lv, J., Cai, L., Gong, M., & 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(November 2023). <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.128572>
- Muharja, M., Darmayanti, R. F., Palupi, B., Rahmawati, I., Fachri, B. A., Setiawan, F. A., Amini, H. W., Rizkiana, M. F., Rahmawati, A., Susanti, A., & Putri, D. K. Y. (2021). Optimization of microwave-assisted alkali pretreatment for enhancement of delignification process of cocoa pod husk. *Bulletin of Chemical Reaction Engineering and Catalysis*, 16(1). <https://doi.org/10.9767/BCREC.16.1.8872.31-43>

- Novia, N., Hasanudin, H., Hermansyah, H., & Fudholi, A. (2022). Kinetics of Lignin Removal from Rice Husk Using Hydrogen Peroxide and Combined Hydrogen Peroxide–Aqueous Ammonia Pretreatments. *Fermentation*, 8(4). <https://doi.org/10.3390/fermentation8040157>
- Novia, N., Melwita, E., Selpiana, S., Deviyana, N. H., & Viola, V. (2023). Hidrolisis Enzimatik Selulosa Sekam Padi Menggunakan Crude Enzim dari *Aspergillus niger* untuk Produksi Bioetanol. *Litbang Industri*, 13, 161–167.
- Novia, N., Syaputra, A. A., Ariva, H., Arya, S., Yuliantika, V., Setyawan, D., Selpiana, S., & Hasanudin, H. (2025). Pretreatment of corn cobs using hydrogen peroxide-microwave assisted to enhance enzymatic hydrolysis: Kinetics studies. *Renewable Energy*, 241(September 2024). <https://doi.org/10.1016/j.renene.2024.122311>
- Offei, F., Mensah, M., Thygesen, A., & Kemausuor, F. (2018). Seaweed bioethanol production: A process selection review on hydrolysis and fermentation. Dalam *Fermentation* (Vol. 4, Nomor 4). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/fermentation4040099>
- Qin, Y., Luo, Y., Qiu, S., Zhang, Q., & Yang, L. (2024). Secondary metabolite profiles and bioactivities of red raspberry juice during fermentation with *Wickerhamomyces anomalus*. *LWT*, 191. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2023.115706>
- Rezania, S., Oryani, B., Cho, J., Talaiekhosani, A., Sabbagh, F., Hashemi, B., Rupani, P. F., & Mohammadi, A. A. (2020). Different pretreatment technologies of lignocellulosic biomass for bioethanol production: An overview. *Energy*, 199. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.117457>
- Sakuragi, K., Hori, C., Igarashi, K., & Samejima, M. (2018). Secretome analysis of the basidiomycete *Phanerochaete chrysosporium* grown on ammonia-treated lignocellulosic biomass from birch wood. *Journal of Wood Science*, 64(6), 845–853. <https://doi.org/10.1007/s10086-018-1770-4>
- Salsabilla, A. L., & Fahrurroji, I. (t.t.). *HIDROLISIS PADA SINTESIS GULA BERBASIS PATI JAGUNG Hydrolysis in Corn Starch-based Sugar Synthesis*. <http://ejournal.upi.edu/index.php/edufortechEDUFORTECH6>
- Samara, F. S., Novia, N., & Melwita, E. (2024a). Enzymatic hydrolysis of cellulose banana stem (alkaline microwave-assisted pre-treatment). *Journal of Integrated and Advanced Engineering (JIAE)*, 4(1), 21–30. <https://doi.org/10.51662/jiae.v4i1.120>
- Samara, F. S., Novia, N., & Melwita, E. (2024b). Enzymatic hydrolysis of cellulose banana stem (alkaline microwave-assisted pre-treatment). *Journal of Integrated*

and *Advanced Engineering (JIAE)*, 4(1), 21–30.
<https://doi.org/10.51662/jiae.v4i1.120>

Studi Pendidikan Kimia Jurusan PMIPA FKIP, P. (t.t.). *PENGARUH KADAR Aspergillus niger TERHADAP PRODUKSI BIOETANOL DARI BONGGOL PISANG KEPOK (Musa paradisiaca L)* (Vol. 2019, Nomor 2).

Sukai, & Kana, G. (2018). Microwave-assisted alkaline salt pretreatment of corn cob wastes: Process optimization for improved sugar recovery. *Industrial Crops and Products*, 125(May), 284-292. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.08.086>

Sumiati, T., Yuningtyas, S., Haloho, L, E, BR., (2023). Delignifikasi Lignoselulosa Daun Nanas (*Ananas comosus* (L) Merr) Untuk Produksi Alfa Selulosa. *Jurnal Farmamedika* Vol. 8 No.2, Desember 2023:130-137.

Vasić, K., Knez, Ž., & Leitgeb, M. (2021). Bioethanol production by enzymatic hydrolysis from different lignocellulosic sources. Dalam *Molecules* (Vol. 26, Nomor 3). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/molecules26030753>