

TESIS
**FERMENTASI BIOETANOL DARI BATANG PISANG
BATU (*MUSA BALBISIANA*) PRAPERLAKUAN *KOH*
MICROWAVE DAN PEMODELAN KINETIKA**

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



DHIKA ULJANAH

03012682226006

PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK KIMIA

JURUSAN TEKNIK KIMIA

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS SRIWIJAYA

2024

HALAMAN PENGESAHAN

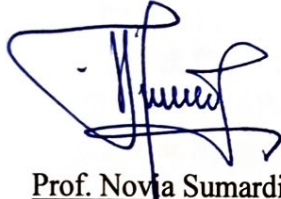
**FERMENTASI BIOETANOL DARI BATANG PISANG
BATU (MUSA BALBISIANA) PRAPERLAKUAN KOH
MICROWAVE DAN PEMODELAN KINETIKA**

TESIS

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

Universitas Sriwijaya

Palembang, Agustus 2024
Menyetujui,
Pembimbing I



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

Pembimbing II



Elda Melwita, S.T., M.T., Ph.D
NIP. 1975051120001220001

Mengetahui,

Dekan Fakultas Teknik
Universitas Sriwijaya,



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

✓ Ketua Jurusan Teknik Kimia



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

HALAMAN PERSETUJUAN

Karya Tulis Ilmiah berupa Laporan Akhir Tesis dengan judul "Fermentasi Bioetanol dari Batang Pisang Batu (*Musa Balbisiana*) Praperlakuan *KOH* *Microwave* dan Pemodelan Kinetika" telah dipertahankan dihadapan Tim Penguji Karya Tulis Ilmiah Program Studi Magister Teknik Kimia, Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya pada tanggal 22 Juli 2024 dan dinyatakan sah melakukan penelitian lebih lanjut.

Palembang, Juli 2024




Pembimbing:

1. Prof. Novia Sumardi, S.T., M.T., Ph.D
NIP. 197311052000032003
2. Elda Melwita, S.T., M.T., Ph.D
NIP. 1975051120001220001

()
()

Penguji :


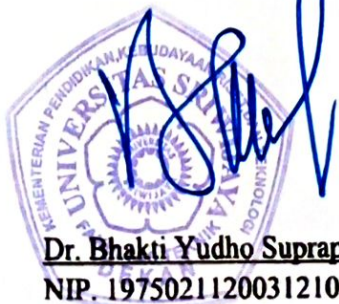
1. Prof. Dr. Ir. Hj. Sri Haryati, DEA, IPU
NIP. 195610241981032001
2. Tine Aprianti, S.T., M.T., Ph.D
NIP. 198204252023212029
3. Dr. Budi Santoso, S.T., M.T.
NIP. 197706052003121004

()
()
()

Mengetahui,

Dekan Fakultas Teknik
Universitas Sriwijaya

✓ Ketua Jurusan Teknik Kimia



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


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

HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Dhika Uljanah

NIM : 03012682226006

Judul : Fermentasi Bioetanol dari Batang Pisang Batu (*Musa balbisiana*)
Praperlakuan *KOH Microwave* dan Pemodelan Kinetika

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, 2024
Yang membuat pernyataan,



Dhika Uljanah
NIM. 03012682226006

RINGKASAN

FERMENTASI BIOETANOL DARI BATANG PISANG BATU (MUSA BALBISIANA) PRAPERLAKUAN KOH-MICROWAVE DAN PEMODELAN KINETIKA

Karya tulis ilmiah berupa Tesis, Agustus 2024

Dhika Uljanah, Dibimbing oleh Prof. Novia Sumardi, S.T., M.T., Ph.D dan Elda Melwita, S.T., M.T., Ph.D

Bioethanol Fermentation from Banana Pseudostems Waste (*Musa balbisiana*) Pretreated with KOH Microwave and Kinetic Modeling

xvii + 88 halaman, 12 Tabel, 25 Gambar, 6 lampiran

RINGKASAN

Limbah batang pisang minim pemanfaatannya, namun telah banyak studi menemukan bahwa limbah batang pisang berpotensi menghasilkan bioetanol karena mengandung selulosa yang tinggi. Oleh karena itu, penelitian ini melakukan fermentasi bioetanol dari limbah batang pisang batu yang sudah diberi praperlakuan *KOH Microwave* secara SHF (*Separate hydrolysis and fermentation*). Penelitian ini menganalisa pengaruh penambahan 8, 10, dan 12% *yeast* dan lama waktu fermentasi selama 6, 7, 8, 12, dan 13 hari terhadap sampel batang pisang batu yang sudah diberi praperlakuan *KOH Microwave*. Fermentasi ini menerapkan pemodelan kinetika enzimatis menggunakan persamaan *Michaelis-Menten* untuk menentukan laju reaksi. Sampel batang pisang batu (*Musa balbisiana*) dengan variasi penambahan 12% *yeast* dan waktu fermentasi selama 13 hari menghasilkan kadar etanol tertinggi yakni sejumlah 41,5 % v/v. Pemodelan kinetika yang sesuai pada penelitian ini adalah pemodelan linearisasi *Hanes Woolf* dengan variasi penambahan 10% *yeast* menghasilkan nilai KM sebesar $160,65 \times 10^{-5}$ gr/mL dan V_{max} sebesar $68,37 \times 10^{-5}$ gr/mL.jam dengan regresi 0,99.

Kata Kunci : Bioetanol, Fermentasi, Pemodelan Kinetika, Batang Pisang, *KOH Microwave*

SUMMARY

BIOETHANOL FERMENTATION FROM BANANA PSEUDOSTEMS WASTE (MUSA BALBISIANA) PRETREATED WITH KOH MICROWAVE AND KINETIC MODELING

Karya tulis ilmiah berupa Tesis, Agustus 2024

Dhika Uljanah, Dibimbing oleh Prof. Novia Sumardi, S.T., M.T., Ph.D dan Elda Melwita, S.T., M.T., Ph.D

Fermentasi Bioetanol dari Batang Pisang Batu (*Musa balbisiana*) Praperlakuan KOH Microwave dan Pemodelan Kinetika

xvii + 88 halaman, 12 Tabel, 25 Gambar, 6 lampiran

SUMMARY

Banana pseudostem waste was minimally utilized and often discarded by the community. However, many studies found that banana pseudostems could be fermented to produce bioethanol due to its high cellulose content. Therefore, this study conducted bioethanol fermentation from banana pseudostems waste (*Musa balbisiana*) pretreated with KOH microwave by separate hydrolysis and fermentation. The effect of yeast concentrations (8, 10, and 12%) and fermentation times (6, 7, 8, 12, and 13 days) on pretreated banana pseudostems waste was analyzed. The fermentation applied enzymatic kinetic modeling using Michaelis-Menten's equations to determine the reaction rate. The result showed that the sample with 12% yeast and fermentation time in 13 days produced the highest ethanol content. The appropriate kinetic modeling result was similar to Hanes Woolf's linearization modeling with variations of the 10% yeast concentrations, resulting in KM values of $160,65 \times 10^{-5} \text{ g mL}^{-1}$ and Vmax of $68,37 \times 10^{-5} \text{ g mL}^{-1} \text{ h}$ with regression 0,99.

Kata Kunci : Bioethanol, Fermentation, Kinetic Modeling, Banana Pseudostems, *KOH Microwave*

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa, atas berkat dan karunia-Nya laporan akhir tesis yang berjudul “Fermentasi Bioetanol dari Batang Pisang Batu (*Musa Balbisiana*) Praperlakuan *KOH Microwave* dan Pemodelan Kinetika” dapat diselesaikan. Laporan akhir tesis ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat SKS yang harus ditempuh oleh mahasiswa dalam memperoleh gelar Magister Teknik (M.T) pada Program Studi Magister Teknik Kimia BKU Teknologi Lingkungan Jurusan Teknik Kimia Program Pascasarjana Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya.

Topik penelitian tesis ini bertujuan untuk menginvestigasi potensi analisa proses fermentasi yang dipengaruhi oleh penambahan % *yeast* dan lama waktu fermentasi terhadap pembuatan bioetanol dari limbah batang pisang batu setelah diberi praperlakuan *KOH Microwave*. Besar harapan laporan akhir tesis ini dapat bermanfaat bagi pembaca dan dapat menjadi referensi bagi peneliti dalam melakukan pengembangan produk bioetanol dari limbah batang pisang sebagai energi alternatif terbarukan.

Laporan akhir tesis ini tidak dapat diselesaikan tanpa adanya dukungan dan bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, ucapan terima kasih yang sebesar besarnya penulis sampaikan kepada:

1. Prof. Dr. Ir. H. Anis Saggaff, MSCE, IPU selaku Rektor Universitas Sriwijaya yang telah memberikan pendanaan penelitian melalui Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat Universitas Sriwijaya sebagaimana Keputusan Rektor Nomor: 0188/UN9.3.1/SK/2023 pada tanggal 15 April 2023.
2. Dr. Bhakti Yudho Suprpto, S.T., M.T., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya yang telah menyusun kebijakan dan pedoman, serta menerapkan sistem dan pengawasan yang baik di lingkungan akademik.

3. Dr. Selpiana, S.T., M.T. selaku Koordinator Program Studi Magister Teknik Kimia Universitas Sriwijaya yang telah memberikan masukan dan membantu mengatasi berbagai hambatan yang muncul.
4. Prof. Novia, ST, MT, Ph.D. selaku Dosen Pembimbing I yang telah memberikan dedikasi dan kesabaran selama membimbing saya, serta pemberian waktu luang. pengetahuan dan wawasan di setiap langkah penyusunan laporan akhir tesis ini.
5. Elda Melwita, S T., MT., Ph.D. selaku Dosen Pembimbing II yang selalu memberikan dukungan, bimbingan dan arahan terbaik yang memonitoring saya dalam masa pengerjaan laporan akhir tesis ini.
6. Seluruh pimpinan, rekan-rekan, dan pihak-pihak terkait yang turut berkontribusi demi kelancaran serta penyelesaian laporan akhir tesis ini.

Akhir kata penulis mengucapkan terima kasih atas segala bimbingan dan dukungan. Semoga laporan akhir tesis ini dapat memberikan manfaat dan kontribusi yang berarti, serta dapat menambah wawasan dan ilmu pengetahuan.

Palembang, Juli 2024

Penulis

DAFTAR ISI

COVER	i
HALAMAN PENGESAHAN.....	ii
HALAMAN PERSETUJUAN	iii
HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS.....	iv
RINGKASAN	v
SUMMARY	vi
KATA PENGANTAR.....	vii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR GAMBAR.....	xv
DAFTAR SIMBOL	xvii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	4
1.3. Tujuan	4
1.4. Hipotesa	4
1.5. Ruang Lingkup.....	5
1.6. Manfaat	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	6

2.1. Pengertian dan Karakteristik Bioetanol	6
2.2. Bahan Baku Bioetanol	8
2.3. Proses Pembuatan Bioetanol	11
2.3.1. Persiapan Bahan Baku	11
2.3.2. <i>Pretreatment</i>	12
2.3.4. Penguraian Substrat Pati	16
2.3.5. Fermentasi.....	17
2.3.5.1. Mekanisme	18
2.3.5.2. Mikroorganisme yang Terlibat	19
2.3.5.3. Faktor-Faktor yang Mempengaruhi.....	20
2.3.5.4. Metode Penerapan Fermentasi.....	22
2.4. Pemanfaatan Bioetanol	24
2.4.1. Bioetanol Sebagai Antiseptik.....	24
2.4.2. Bioetanol Sebagai Pelarut	24
2.4.3. Bioetanol Sebagai Bahan Bakar.....	24
2.5. Pemodelan Kinetika Reaksi Fermentasi	26
2.6. Penelitian Terdahulu	32
2.6.1. Pemanfaatan Batang Pisang Kepok sebagai Bioetanol.....	32
2.6.2. <i>Delignification and Adsorption Research on Bioethanol Process Using Pseudostem of Musa Balbisiana as The Blending Raw Material for Gasohol.....</i>	32
2.6.3. <i>Evaluation And Production of Bioethanol Using Agricultural Waste With Banana Pseudostem and Peels of Pine Apple and Banana Peel ..</i>	33

2.6.4. <i>Bioethanol Production from Banana Stem by Using Simultaneous Saccharification and Fermentation (SSF)</i>	34
2.6.5. Modeling and Optimisation of NaOH and NaOH-AQ Pretreatment of Plantain Pseudo-Stem in Bioethanol Production.....	35
2.6.6. <i>Bioethanol From Various Types of Banana Waste: A Review</i>	36
2.6.7. Pembuatan Bioetanol dari Umbi Ganyong (<i>Canna Discolor</i>) dengan Metode <i>Solid State Fermentation (SSF)</i>	37
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	38
3.1. Waktu dan Tempat Penelitian	38
3.2. Alat dan Bahan.....	38
3.3. Variabel Penelitian	39
3.3.1. Variabel Terikat	39
3.3.2. Variabel Tetap.....	39
3.3.3. Variabel Bebas	39
3.4. Prosedur Penelitian.....	39
3.4.1. Preparasi Bahan Baku	39
3.4.2. <i>KOH Microwave Pretreatment</i>	39
3.4.3. Pembuatan Enzim Selulase dari <i>Aspergillus Niger</i>	40
3.4.4. Pembuatan Inokulum <i>Sacharomycess Cerevisiae</i>	41
3.4.5. Hidrolisis Enzimatik	41
3.4.6. Fermentasi.....	42
3.4.7. Destilasi.....	42
3.5. Analisa Penelitian.....	42

3.5.1. Analisa Metode <i>Chesson</i>	42
3.5.2. Analisa Aktivitas Enzim Selulase	43
3.5.3. Analisa Protein pada Enzim.....	44
3.5.4. Analisis Kadar Total Gula Pereduksi Metode DNS.....	44
3.5.5. Analisa Pemodelan Kinetika Reaksi	44
3.6. Diagram Alir Proses	45
BAB IV HASIL DAN	
PEMBAHASAN	
PEMBAHASAN	46
4.1. Karakteristik Bahan Baku Awal dan Setelah Praperlakuan	46
4.2. Karakteristik Enzim Selulase	49
4.3. Kadar Gula Pereduksi Setelah Hidrolisis	52
4.4. Pengaruh Penambahan <i>Yeast</i> dan Lama Waktu Fermentasi Terhadap Kadar Alkohol yang Dihasilkan.....	53
4.5. Pemodelan Kinetika	55
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	
5.1. Kesimpulan	60
5.2. Saran.....	60
DAFTAR PUSTAKA	

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran A	Komposisi Bahan Baku	74
Lampiran B	Analisa Enzim Selulase.....	76
Lampiran C	Analisa Glukosa	78
Lampiran D	Analisa Etanol.....	80
Lampiran E	Analisa Kinetika.....	81
Lampiran F	Gambar Proses Alat Bahan.....	84

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1.	Standar Bahan Baku Etanol Menurut Dirjen Energi.....	7
Tabel 2.2.	Standar Bahan Baku Etanol Ketentuan SNI	8
Tabel 2.3.	Potensi Produksi Bioetanol dari Berbagai Tanaman.....	9
Tabel 2.4.	Keuntungan Kerugian <i>Pretreatment</i> Asam Basa.....	14
Tabel 2.5.	Hasil Kadar Glukosa Praperlakuan Hidrolisis Enzimatis	16
Tabel 4.1.	Hasil Analisa Komposisi Batang Pisang Batu	46
Tabel 4.2.	Perbandingan Hasil Analisa Komposisi Batang Pisang dari Beberapa Penelitian Terdahulu	47
Tabel 4.3.	Data Aktivitas Enzim Selulase.....	49
Tabel 4.4.	Hasil Analisa Gula Pereduksi	52
Tabel 4.5.	Perbandingan Hasil Analisa Kadar Etanol dari Beberapa Penelitian Terdahulu	54
Tabel 4.6.	Nilai [S], [P], t dan v	56
Tabel 4.7.	Nilai KM dan Vmax.....	58

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1.	Struktur Gugus Etanol.....	6
Gambar 2.2.	Contoh Bagian Tanaman Sebagai Bahan Baku Bioetanol.....	10
Gambar 2.3.	Limbah Batang Pisang	10
Gambar 2.4.	Ikatan Kompleks Lignin Karbohidrat pada Sel Tumbuhan	12
Gambar 2.5.	Visual SEM Permukaan Tebu Setelah Sebelum <i>Pretreatment</i>	13
Gambar 2.6.	Proses Fermentasi.....	18
Gambar 2.7.	Mekanisme Fermentasi	18
Gambar 2.8.	Pembuatan Bioetanol Metode SSF dan SHF.....	23
Gambar 2.9.	Hubungan Konsentrasi Substrat Produk Terhadap Waktu.....	27
Gambar 2.10.	Hubungan Konsentrasi Substrat Terhadap Waktu	27
Gambar 2.11.	Hubungan Laju Reaksi terhadap Konsentrasi Substrat	29
Gambar 2.12.	Plot <i>Lineweaver and Burk</i> $1/v$ terhadap $1/S$	30
Gambar 2.13.	Plot <i>Eadie – Hofstee</i> v terhadap $v/[S]$	31
Gambar 2.14.	Plot <i>Hanes-Woolf</i> $[S]/v$ terhadap $[S]$	31
Gambar 2.15.	Proses <i>Pretreatment</i> Basa.....	33
Gambar 2.16.	Sampel Limbah Agro pada Pembuatan Bioetanol	34
Gambar 2.17.	Chip-Chip Batang Pisang.....	35
Gambar 2.18.	Varian Proses Pembuatan Bioetanol Dari Limbah Pisang	36
Gambar 3.1.	Diagram Alir Proses	45
Gambar 4.1.	(a) (b) (c) Batang, Potongan, Serbuk Pisang Batu	46

Gambar 4.2.	(a) (b) Sampel Sebelum dan Setelah Praperlakuan <i>Microwave</i>	49
Gambar 4.3.	(a) (b) <i>Aspergillus Niger</i> Pada Media Cair Dan Media Sampel.....	51
Gambar 4.4.	Pengaruh <i>Yeast</i> , Waktu Fermentasi Terhadap Kadar Etanol	53
Gambar 4.5.	Plot Grafik <i>Lineweaver and Burk</i> $1/[S]$ terhadap $1/V$	56
Gambar 4.6.	Plot Grafik <i>Eadie-Hofstee</i> $V/[S]$ terhadap V	57
Gambar 4.7.	Plot Grafik <i>Hanes-Woolf</i> $[S]$ terhadap $[S]/V$	57

DAFTAR SIMBOL

[P]	Konsentrasi Produk	g/mL
[S]	Konsentrasi Substrat	g/mL
[E]	Konsentrasi Enzim	mg/mL
KM	Konstanta <i>Michaelis Menten</i>	gr/mL
Vmax	Laju Reaksi Maksimum	gr/mL.jam
v	Laju Reaksi	gr/mL.jam
t	Waktu	jam
BM	Berat Molekul	gr/mol

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Senyawa bioetanol memiliki karakteristik menyerupai bensin yang dapat dimanfaatkan sebagai bahan bakar. Menurut Ananda & Daulay (2023) bioetanol sebagai bahan bakar alternatif menghasilkan emisi karbon yang minim dan bahan bakunya akan selalu tersedia dari sumber daya alam Indonesia. Bahan baku bioetanol yang berasal dari alam dapat terus dibudidayakan dan menjadikannya sebagai pilihan energi terbarukan (Budiastuti et al., 2023). Bioetanol layak bersaing dengan bensin karena memiliki prospek energi yang ramah lingkungan, berkelanjutan dan dapat meningkatkan perekonomian Indonesia (Sofiah et al., 2019). Oleh karena itu bioetanol memiliki peran penting sebagai salah satu pioner energi terbarukan untuk mencapai target keadaan *Net zero emission* (NZE) di Indonesia. Pemerintah terus mengembangkan target keadaan *Net zero emission* (NZE), karena Indonesia diperhitungkan akan menghasilkan 1,5 giga ton emisi gas hingga tahun 2060 (Putra et al., 2022; Sulaeman, 2022). *Net zero emission* (NZE) merupakan keadaan yang menunjukkan kuantitas emisi gas karbon di udara tidak melebihi kuantitas emisi gas karbon yang diserap oleh bumi. Program *Net zero emission* (NZE) bertujuan untuk menahan laju pencemaran lingkungan udara yang berpotensi mengakibatkan pemanasan global terhadap bumi. Energi terbarukan merupakan sektor yang diutamakan dalam upaya mencapai keadaan *Net zero emission* (NZE) (Aprilianto & Ariefianto, 2021).

Bioetanol dibuat dari berbagai sumber daya alam hayati yang kaya akan pati. Pati tersebut mengandung substrat karbohidrat yang terurai menjadi senyawa gula jika difermentasi akan menghasilkan produk bioetanol. Hampir semua sumber daya alam hayati Indonesia memiliki tumbuhan yang mengandung pati, contohnya tanaman singkong, tebu, nira nipah dan sorgum (Widyastuti, 2019). Berbagai macam produk olahan makanan Indonesia telah memanfaatkan tanaman tersebut sebagai kebutuhan ekonomi, namun tidak semua bagian tanaman dimanfaatkan

dengan baik. Bagian tanaman yang tak termanfaatkan merupakan limbah yang harus diolah. Limbah tanaman seperti kulit, batang, bonggol dan biji dapat diolah menjadi bioetanol.

Kurnia et al. (2023) menyebutkan bahwa BPS tahun 2019 telah mendata Indonesia memproduksi pisang sejumlah 7.280.658 ton. Semua bagian tanaman pisang berpotensi dapat diolah menjadi bioetanol. Kulit pisang difermentasi selama 9 hari dengan variasi konsentrasi HCl menghasilkan 1-5% kadar bioetanol (Zulnazri et al., 2023). Menurut Setiawan (2023) 100 gram limbah batang pisang raja mengandung 12% karbohidrat dan pada penelitian Khisbul Bakhor & Muhaji (2022) fermentasi bonggol pisang menghasilkan 99% kadar bioetanol. Oleh karena itu produksi bioetanol yang dibuat dari bagian tanaman tak termanfaatkan dapat dijual dengan harga yang terjangkau oleh masyarakat, karena hanya memerlukan bahan baku yang berasal dari limbah buangan (Periyasamy et al., 2023).

Batang pisang merupakan limbah pertanian yang banyak dibuang oleh masyarakat karena hanya dijadikan sebagai jembatan keperluan sungai, limbah batang pisang ini minim pemanfaatannya. Namun telah banyak studi menemukan bahwa limbah batang pisang yang difermentasi melalui metode *Simultaneous Saccharification and Fermentation* berpotensi menghasilkan produk bioetanol karena mengandung selulosa yang tinggi (Kusmiyati et al., 2018).

Kolajo et al. (2023) menemukan bahwa optimasi eksperimen alkali *pretreatment* pada limbah batang pisang yang melibatkan simulasi program *software*, menghasilkan simulasi data *desirability* mendekati 1 yang menunjukkan bahwa limbah batang pisang berpotensi baik menghasilkan bioetanol.

Secara fisik batang pisang memiliki tekstur yang basah karena mengandung air yang tinggi, oleh karena itu Sawarkar et al. (2022) menerapkan metode *microwave pretreatment* pada pembuatan bioetanol dari batang pisang. Sawarkar et al. (2022) mengungkapkan bahwa pemanasan melalui *microwave* memberikan progres baik pada pemecahan lignoselulosa batang pisang. Penelitian Egwim Evans Chidi et al. (2015) menemukan bahwa *pretreatment* batang pisang menggunakan *microwave* dapat menghilangkan kadar optimum lignin sejumlah 98% pada perendaman 2% alkali, sedangkan penelitian Arjeni et al. (2023) melakukan

pretreatment sampel batang pisang tanpa melibatkan *microwave*, hanya dapat menghilangkan kadar lignin sejumlah 34-48% pada variasi perendaman 10-30% alkali. Menurut Kumar & Sharma (2017) radiasi *microwave* dapat mendegradasi fraksi lignoselulosa didukung dengan penambahan reagen alkali sehingga memudahkan penghilangan kadar zat pengotor seperti lignin yang terikat pada struktur biomassa.

Penelitian ini melakukan fermentasi bioetanol dari limbah batang pisang batu (*Musa balbisiana*) yang sudah diberi praperlakuan *KOH Microwave* dan menganalisa pemodelan kinetiknya. Keterbaruannya ialah penelitian ini meneliti pengaruh penambahan % *yeast* dan lama waktu fermentasi bioetanol dari limbah batang pisang batu (*Musa balbisiana*) yang sudah diberi praperlakuan *KOH microwave*. Variasi parameter tersebut dikontrol untuk meningkatkan kadar etanol yang dihasilkan. Penelitian Cahyaningtyas & Sindhuwati (2023) menemukan bahwa variasi penambahan ragi sejumlah 50, 75, dan 100 gr meningkatkan 2,5% produksi fermentasi bioetanol yang dibuat dari air tebu. Penelitian Chamidy & Permanasari (2023) menemukan variasi penambahan ragi 5, 10, dan 15 gr dengan variasi waktu 72 dan 120 jam menghasilkan kadar etanol terbaik pada penambahan ragi 15 gr dan variasi waktu 120 jam. Disimpulkan bahwa penambahan ragi dapat meningkatkan produksi etanol seiring dengan bertambahnya durasi waktu fermentasi. Oleh karena itu variasi durasi waktu fermentasi memberikan pengaruh signifikan pada proses degradasi selulosa menjadi etanol (Hidayat et al., 2022)

Proses fermentasi ini menerapkan kinetika reaksi *Michaelis-Menten* karena melibatkan mikroba yang menghasilkan enzim untuk mengkatalisasi glukosa menjadi etanol (Hermansyah & Novia, 2014; Susmanto et al., 2020). Penelitian terdahulu belum ada yang mengkaji kinetika reaksi fermentasi pembuatan bioetanol dari batang pisang yang sudah diberi praperlakuan *KOH Microwave*. Oleh karena itu penelitian ini mengkaji pemodelan kinetika reaksi selama fermentasi berlangsung.

1.2. Rumusan Masalah

Peneliti Anggriani et al. (2023) telah melakukan analisa *pretreatment KOH Microwave* pada variasi suhu dan waktu terhadap sampel batang pisang. Peneliti Samara et al. (2024) telah melakukan analisa hidrolisis enzimatik pada sampel batang pisang praperlakuan *KOH Microwave*. Permasalahan yang muncul ialah belum ada yang melakukan fermentasi sampel batang pisang praperlakuan *KOH Microwave* yang berpotensi menghasilkan etanol. Oleh karena itu rumusan masalah pada penelitian ini sebagai berikut:

1. Bagaimana potensi analisa kadar etanol terhadap fermentasi batang pisang batu (*Musa balbisiana*) praperlakuan *KOH Microwave* pada pengaruh variasi penambahan % *yeast* dan lama waktu fermentasi?
2. Bagaimana pemodelan kinetika reaksi fermentasi pada pembuatan bioetanol dari batang pisang batu (*Musa balbisiana*) yang diberi praperlakuan *KOH Microwave*?

1.3. Tujuan

1. Untuk meneliti dan menganalisa pengaruh variasi penambahan % *yeast* dan lama waktu fermentasi pada pembuatan bioetanol dari batang pisang batu (*Musa balbisiana*) praperlakuan *KOH Microwave*
2. Untuk meneliti dan menganalisa kinetika reaksi fermentasi pada pembuatan bioetanol dari batang pisang batu (*Musa balbisiana*) praperlakuan *KOH Microwave*

1.4. Hipotesa

1. Semakin lama waktu fermentasi maka akan semakin tinggi kadar etanol yang dihasilkan hingga mencapai kondisi batas kesetimbangan waktu optimum (Erawati & Sari, 2021)
2. Semakin tinggi penambahan % *yeast*, maka akan semakin tinggi kadar etanol yang dihasilkan hingga mencapai jumlah batas optimum (Chamidy & Permasari, 2023; Nafi'ah & Primadevi, 2019)

3. Kinetika reaksi fermentasi bioetanol dengan ragi *Sacharomycess cerevisiae* menerapkan modifikasi persamaan *Michaelis-Menten* (Erawati & Sari, 2021). Persamaan ini menentukan nilai V_{maks} dan K_m . Semakin kecil K_m menunjukkan semakin tinggi afinitas enzim untuk mengikat substrat (Tomczak & Węglarz-Tomczak, 2019). Sedangkan V_{max} akan menunjukkan jumlah kebutuhan konsentrasi substrat yang efektif untuk mengoptimalkan produksi etanol (Erawati & Sari, 2021).

1.5. Ruang Lingkup

Bahan baku yang digunakan ialah batang pisang batu batu (*Musa balbisiana*). *Yeast* yang dipakai saat fermentasi adalah *Sacharomycess cerevisiae*. Proses fermentasi diatur pada suhu 30 °C dan kecepatan pengadukan saat fermentasi 120 rpm.

1.6. Manfaat

1. Memberikan kajian pengaruh penambahan % *yeast* dan lama waktu fermentasi etanol yang sesuai pada bahan baku pembuatan bioetanol dari batang pisang batu (*Musa balbisiana*) yang sudah diberi praperlakuan *KOH Microwave*
2. Memberikan kajian mendalam terhadap pemilihan prosedur pembuatan etanol yang sesuai pada bahan baku pembuatan bioetanol dari batang pisang batu (*Musa balbisiana*) yang sudah diberi praperlakuan *KOH Microwave*
3. Memberikan kajian informasi dan kontribusi ilmu pengetahuan terhadap pengembangan bioetanol sebagai energi baru terbarukan dan ramah lingkungan.

DAFTAR PUSTAKA

- Abu Rayyan, W., Al Majali, I., Zakaria, Z., Ahmed, S., Zaiton, A., & Abu Dayyih, W. 2019. Specific Purification of Alcohol Dehydrogenase From *Saccharomyces Cerevisiae*, Qualitative And Quantitative Characterization. *International Journal of Biology, Pharmacy and Allied Sciences*, 8(12), 2337–2349. <https://doi.org/10.31032/ijbpas/2019/8.12.4888>
- Adeyani, N. P., Agustin, W., Absor, M. U., Broto, R. T. W., Arifan, F., & Yudanto, Y. A. 2020. Studi: Potensi Bioetanol Limbah Nasi Putih, Metode Efektif Dalam Produksi Bioetanol, Potensi Aloe Vera Sebagai Antiseptik dan Efektivitas Hand Sanitizer. *Jurnal Pentana*, 1(1), 6–14. <https://ejournal2.undip.ac.id/index.php/pentana/article/view/11595>
- Alashmawe, N., Ehmed, K., Younis, M., & Alhamdan, A. 2018. Effect of Anaerobic Fermentation Temperature on Three Different Types of Low-Grade Saudi Dates for Producing Ethanol Fuel. *Journal of Soil Sciences and Agricultural Engineering*, 9(11), 535–541. <https://doi.org/10.21608/jssae.2018.36483>
- Aledo, J. C. 2021. Enzyme kinetic parameters estimation: A tricky task? *Biochemistry and Molecular Biology Education*, 49(4), 633–638. <https://doi.org/10.1002/bmb.21522>
- Algofar, M. A. A., Rosmansyah, H. F., Rum, I. A., Muhsinin, S., & Fatmawati, F. 2021. Artikel Review : Study A-Amilase Dari Mikroba Serta Pemanfaatannya Dalam Pembuatan Maltodekstrin Review Article : Study of A-Amilase From Microbes and Its Use in the Making of Maltodextrine. *Indonesia Natural Research Pharmaceutical Journal*, 6(1), 102–117. https://www.agilent.com/cs/library/msds/SDS328_NAEnglish.pdf
- Almgren, I. 2010. Pre-treatment of grain for ethanol production during storage. Uppsala: Swedish University of Agricultural Sciences, 42.
- Alvita, L. R., Maulina, I., & Ayu Afifah, D. 2023. Optimasi Konsentrasi Substrat Dan Enzim Dalam Pembuatan Gula Cair Berbahan Dasar Tepung Ketan Putih Dengan Response Surface Methodology (RSM). *JoASCE (Journal Applied of Science and Chemical Engineering)*, 1(1), 17–21. <https://doi.org/10.25181/joasce.v1i1.3027>
- Ananda, P. D., Masthura, & Abdul Halim Daulay. 2023. Pemanfaatan Tongkol Jagung Dan Ampas Tebu Dalam Pembuatan Bioetanol Sebagai Bahan Bakar Alternatif. *Jurnal Redoks*, 8(2), 48–53. <https://doi.org/10.31851/redoks.v8i2.13097>
- 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 UAD*, 10(3), 112–120. <http://dx.doi.org/10.26555/chemica.v10i3.27329>
- Aprilianto, R. A., & Ariefianto, R. M. 2021. Peluang Dan Tantangan Menuju Net Zero Emission (NZE) Menggunakan Variable Renewable Energy (VRE) Pada Sistem Ketenagalistrikan Di Indonesia. *Jurnal Paradigma*, 2(2), 1–13.
- Arif Setyo Nugroho. 2022. Upaya Mengurangi Kadar Karbon Monoksida (CO) Gas Buang Kendaraan. *Journal Renewable Energy Electronics and Control*, Vol 2 No 0, 35–40. <https://doi.org/10.31284/j.JREEC.2022.v2i1>
- Arjeni, R., Hasan, A., & Syarif, A. 2023. Delignification and Adsorption Research of Bioethanol Process using Pseudostem of *Musa Balbisiana* (Pisang Klutuk) as the Blending Raw Material to Gasohol. *Indonesian Journal of Fundamental and Applied Chemistry*, 8(1), 1–7. <https://doi.org/10.24845/ijfac.v8.i1.1>
- Arun Sasi. 2012. Optimization, production and purification of cellulase enzyme from marine *Aspergillus flavus*. *African Journal of Microbiology Research*, 6(20), 4214–4218. <https://doi.org/10.5897/ajmr11.074>
- Bakhor, K. 2022. Proses Pembuatan Dan Uji Karakteristik Bioetanol Dari Bonggol Pohon Pisang Raja (*Musa Paradisiaca*). *Jurnal Teknik Mesin*, 99–108.
- Budiastuti, H., Zulfa, S. I., Sihombing, N., Haryadi, H., Muhari, E. H., Soeswanto, B., Widiastuti, E., & Pullammanappallil, P. 2023. Effect of Fermentation Time on the Production of Ambon Banana Weevil Waste Bioethanol. *Current Journal: International Journal Applied Technology Research*, 4(1), 17–28. <https://doi.org/10.35313/ijatr.v4i1.110>
- Cahyaningtiyas, A., & Sindhuwati, C. 2023. Pengaruh Penambahan Konsentrasi *Saccharomyces Cerevisiae* Pada Pembuatan Etanol Dari Air Tebu Dengan Proses Fermentasi. *DISTILAT: Jurnal Teknologi Separasi*, 7(2), 89–94. <https://doi.org/10.33795/distilat.v7i2.207>
- Chamidy, H. N., & Permanasari, A. R. 2023. *Pengaruh Waktu , Jumlah Yeast dan Konsentrasi Substrat pada Fermentasi Limbah Kulit Nanas Menjadi Bioetanol Skala Home Industry*. VIII(4), 7430–7436.
- Charoenpunthuwong, K., Klanrit, P., Chamnipa, N., Thanonkeo, S., Yamada, M., & Thanonkeo, P. 2023. Optimization Condition for Ethanol Production from Sweet Sorghum Juice by Recombinant *Zymomonas mobilis* Overexpressing *groESL* Genes. *Energies*, 16(14). <https://doi.org/10.3390/en16145284>
- Chen, H., Xiao, H., & Pang, J. 2020. Parameter Optimization and Potential Bioactivity. *Plants*, 1–15.
- Chen, Y., Wu, Q., Wang, Y., Sun, C., Xue, K., Guo, C., Zhu, Z., Wang, Y., & Cui, P.

2023. Phase equilibria and mechanism analysis of separating ethanol from fuel additives by chord chloride-deep electrochemical solvents. *Journal of Molecular Liquids*, 392(P1), 123434. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2023.123434>
- Dai, L., Huang, T., Jiang, K., Zhou, X., & Xu, Y. 2021. A novel recyclable furoic acid-assisted pretreatment for sugarcane bagasse biorefinery in co-production of xylooligosaccharides and glucose. *Biotechnology for Biofuels*, 14(1), 1–8. <https://doi.org/10.1186/s13068-021-01884-3>
- Datta, R. 1981. Acidogenic fermentation of lignocellulose—acid yield and conversion of components. *Biotechnology and Bioengineering*, 23(9), 2167–2170. <https://doi.org/10.1002/bit.260230921>
- E.J.S.B.A., C., & Kapilan, R. 2023. Optimization of Fermentation for Bioethanol Production from sour Citrus aurantifolia Fruit Juice using Natural Palmyrah Toddy Yeast. *Vidyodaya Journal of Science*, 26(01), 145–166. <https://doi.org/10.31357/vjs.v26i01.6415>
- Eden, Y., & Rahayu, S. T. 2019. Produk Bioetanol Daging Buah Sawo (Manilkara Zapota L.) Secara Fermentasi Batch Dengan Saccharomyces Cerevisiae. *Forum Ilmiah*, 16(2), 189. <https://ejournal.esaunggul.ac.id/index.php/Formil/article/view/2815>
- Efrinalia, W., Novia, N., & Melwita, E. 2022. Kinetic Model for Enzymatic Hydrolysis of Cellulose from Pre-Treated Rice Husks. *Fermentation*, 8(9). <https://doi.org/10.3390/fermentation8090417>
- Egwim Evans Chidi, Shittu Kudirat Oluwatisin, & Komolafe Deborah. 2015. Microwave-Alkaline Assisted Pretreatment of Banana Trunk for Bioethanol Production. *Journal of Energy and Power Engineering*, 9(8). <https://doi.org/10.17265/1934-8975/2015.08.003>
- Ellena, V., Sauer, M., & Steiger, M. G. 2020. The fungal sexual revolution continues: discovery of sexual development in members of the genus *Aspergillus* and its consequences. *Fungal Biology and Biotechnology*, 7(1), 1–7. <https://doi.org/10.1186/s40694-020-00107-y>
- Emmanuel, E., & Queen, A. 2017. Partial Purification and Characterization of Cellulase (Ec.3.2.1.4) from *Aspergillus niger* Using Saw Dust as Carbon Source. *Journal of Proteomics & Enzymology*, 06(01), 2–7. <https://doi.org/10.4172/2470-1289.1000128>
- 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. <http://ejournal.ft.unsri.ac.id/>

index.php/jtk

- Erfani Jazi, M., Narayanan, G., Aghabozorgi, F., Farajidizaji, B., Aghaei, A., Kamyabi, M. A., Navarathna, C. M., & Mlsna, T. E. 2019. Structure, chemistry and physicochemistry of lignin for material functionalization. *SN Applied Sciences*, 1(9), 1–19. <https://doi.org/10.1007/s42452-019-1126-8>
- Fahrurrozi, F., Lisdiyanti, P., Ratnakomala, S., Fauziyyah, S., & Sari, M. N. 2020. Teknologi Fermentasi dan Pengolahan Biji Kakao. In *Teknologi Fermentasi dan Pengolahan Biji Kakao*. <https://doi.org/10.14203/press.307>
- Flores, K., Neal, S., Nguyen, J. J., Capper, K., & Felder, M. 2018. Sugar Rush: How Fermentation Rate Increases with Glucose Concentration. *Journal of Undergraduate Biology Laboratory Investigations* .
- Fogler, S. H. 2004. *Element of Chemical Reaction Engineering*. This Indian Reprint.
- Ghazanfar, M., Nadeem, M., Shakir, H. A., Khan, M., Ahmad, I., Franco, M., Chen, L., & Irfan, M. 2022. Valorization of Bombax ceiba Waste into Bioethanol Production through Separate Hydrolysis and Fermentation and Simultaneous Saccharification and Fermentation. *Fermentation*, 8(8). <https://doi.org/10.3390/fermentation8080386>
- Ginting, I., Rudang, S. N., Naldi, J., Siboro, E., & Leny, L. 2022. Utilization of Ambon Banana Stem (*Musa paradisiaca* var. *sapientum* (L)) Ethanol Extract as Moisturizing Sheet Mask. *Journal of Drug Delivery and Therapeutics*, 12(2-S), 25–29. <https://doi.org/10.22270/jddt.v12i2-s.5415>
- Hakim, A. R., & Saputri, R. 2020. Narrative Review: Optimasi Etanol sebagai Pelarut Senyawa Flavonoid dan Fenolik. *Jurnal Surya Medika*, 6(1), 177–180. <https://doi.org/10.33084/jsm.v6i1.1641>
- Hargono, H., Nurcahyaningih, I., & Candra, P. D. 2021. Pengaruh Proses Delignifikasi Basa dan Hidrolisis Asam dengan Penambahan FESO₄ pada Produksi Glukosa dari Selulosa Plyrhiza. *Jurnal Inovasi Teknik Kimia*, 6(2), 55. <https://doi.org/10.31942/inteka.v6i2.4888>
- Haryani, K., Hargon, H., Handayani, N. A., Harles, H., & Putri, S. A. 2021. Pengaruh Konsentrasi Pati dan Yeast pada Pembuatan Etanol dari Pati Sorgum Melalui Proses Simultaneous Saccharification and Fermentation (SSF) dan Separated Hydrolysis Fermentation (SHF). *Jurnal Rekayasa Mesin*, 16(2), 132. <https://doi.org/10.32497/jrm.v16i2.2186>
- Hendrawan, Y., Sumarlan, S. H., Rani, C. P., & Korespondensi, P. 2017. Effect of pH and Fermentation Temperature on Ethanol Production from Hydrolysis of Rice Straw. *Jurnal Keteknikan Pertanian Tropis Dan Biosistem*, 5(1), 1–8.

- Hermansyah, H., & Novia, N. 2014. Penentuan Kadar Etanol Hasil Fermentasi Secara Enzimatis Determination of Ethanol Content From Enzymatic Fermentation. *Molekul*, 9(2), 121. <https://doi.org/10.20884/1.jm.2014.9.2.159>
- Hidayat, S., Hasnudi, & N. Ginting. 2022. Effect of Fermentation Duration and Dosage of Eco Enzyme Use on Nutrient Content of Kepok Banana Stem (*Musa Paradisiaca* L.). *Jurnal Peternakan Integratif*, 9(3), 58–64. <https://doi.org/10.32734/jpi.v9i3.7579>
- Huang, J., Zhu, Y., Liu, T., Sun, S.-L., Ren, J., Wu, A., & Li, H. 2019. A novel wet-mechanochemical pretreatment for the efficient enzymatic saccharification of lignocelluloses: Small dosage dilute alkali assisted ball milling. *Energy Conversion and Management*, 194, 46–54. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2019.04.078>
- Jannah, A. M., Yerizam, M., Pratama, M. Y., & Amin, A. R. A. A. 2020. Pembuatan Bioetanol Berbahan Baku *Chlorella Pyrenoidosa* Dengan Metode Hidrolisis Asam dan Fermentasi. *Journal of Chemical Process Engineering*, 05(2655), 2–7. <https://core.ac.uk/download/pdf/327096949.pdf>
- Jędrzejczyk, M., Soszka, E., Czapnik, M., Ruppert, A. M., & Grams, J. 2019. *Chapter 6 - Physical and chemical pretreatment of lignocellulosic biomass* (A. Basile & F. B. T.-S. and T. G. of F. Dalena (eds.); pp. 143–196). Elsevier. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815162-4.00006-9>
- Jeevan Kumar, S. P., Sampath Kumar, N. S., & Chintagunta, A. D. 2020. Bioethanol production from cereal crops and lignocelluloses rich agro-residues: prospects and challenges. *SN Applied Sciences*, 2(10), 1–11. <https://doi.org/10.1007/s42452-020-03471-x>
- Jojoa-Unigarro, G. D., & González-Martínez, S. 2023a. Methane production from ethanolic and acid fermentations of the organic fraction of municipal solid waste under different pH and reaction times. *Biochemical Engineering Journal*, 190, 0–2. <https://doi.org/10.1016/j.bej.2022.108743>
- Jojoa-Unigarro, G. D., & González-Martínez, S. 2023b. Methane production from ethanolic and acid fermentations of the organic fraction of municipal solid waste under different pH and reaction times. *Biochemical Engineering Journal*, 190(November 2022). <https://doi.org/10.1016/j.bej.2022.108743>
- Kalair, A., Abas, N., Saleem, M. S., Kalair, A. R., & Khan, N. 2021. Role of energy storage systems in energy transition from fossil fuels to renewables. *Energy Storage*, 3(1), e135. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/est2.135>
- Kavitha, S., Gajendran, T., Saranya, K., Selvakumar, P., Manivasagan, V., & Jeevitha, S. 2022. An insight - A statistical investigation of consolidated bioprocessing of

- Allium ascalonicum leaves to ethanol using *Hangateiclostridium thermocellum* KSMK1203 and synthetic consortium. *Renewable Energy*, 187, 403–416. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2022.01.047>
- Kazemi Shariat Panahi, H., Dehghani, M., Aghbashlo, M., Karimi, K., & Tabatabaei, M. 2020. Conversion of residues from agro-food industry into bioethanol in Iran: An under-valued biofuel additive to phase out MTBE in gasoline. *Renewable Energy*, 145, 699–710. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.06.081>
- Kim, Y., Il Kim, W., Min, B., Seo, J., & Lee, K. 2022. Experimental investigation of combustion characteristics of ethanol–gasoline blended fuel in a T-GDI engine. *Applied Thermal Engineering*, 208(July 2021), 118168. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2022.118168>
- Kolajo, T. E., Owofadeju, F. K., & Onibudo, O. A. 2023. Modeling and Optimisation of NaOH and NaOH-AQ Pretreatment of Plantain Pseudo-Stem in Bioethanol Production. *Adeleke University Journal of Engineering and Technology*, 6(1), 188–196.
- Kumar, A. K., & Sharma, S. 2017. Recent updates on different methods of pretreatment of lignocellulosic feedstocks: a review. *Bioresources and Bioprocessing*, 4(1). <https://doi.org/10.1186/s40643-017-0137-9>
- Kumar, R., & Prakash, O. 2023. Experimental investigation on effect of season on the production of bioethanol from wheat-stalk (WS) using simultaneous saccharification and fermentation (SSF) method. *Fuel*, 351(June), 128958. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2023.128958>
- Kurnia, P., Sofyan, A., Purwani, E., Terima, D., & Cookies, B. 2023. Pengaruh Pengaruh Substitusi Tepung Bonggol Pisang Terhadap Komposisi Proksimat Dan Daya Terima Butter Cookies. *Malahayati Health Student Journal*.
- Kusmiyati, Mustofa, A., & Jumarmi. 2018. Bioethanol Production from Banana Stem by Using Simultaneous Saccharification and Fermentation (SSF). *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 358(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/358/1/012004>
- Kusmiyati, & Sukmaningtyas, R. P. 2018. Pretreated of banana pseudo-stem as raw material for enzymatic hydrolysis and bioethanol production. *MATEC Web of Conferences*, 154, 8–11. <https://doi.org/10.1051/matecconf/201815401035>
- Lang, T., Li, S., Xingxiu, Z., & Changqing, Z. 2020. Optimization of Low Yield Positive N-propyl Alcohol Fermentation Process of *Bacillus cereus* by Response Surface Methodology. *Science and Technology of Food Industry*. <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2018.18.030>
- Le, J. M., Alachouzos, G., Chino, M., Frontier, A. J., Lombardi, A., & Bren, K. L.

2020. Tuning Mechanism through Buffer Dependence of Hydrogen Evolution Catalyzed by a Cobalt Mini-enzyme. *Biochemistry*, 59(12), 1289–1297. <https://doi.org/10.1021/acs.biochem.0c00060>
- Li, Z., Jiang, Z., Fei, B., Yu, Y., & Cai, Z. 2012. Effective of Microwave-KOH Pretreatment on Enzymatic Hydrolysis of Bamboo. *Journal of Sustainable Bioenergy Systems*, 02(04), 104–107. <https://doi.org/10.4236/jsbs.2012.24015>
- Lin, W., Yang, J., Zheng, Y., Huang, C., & Yong, Q. 2021. Understanding the effects of different residual lignin fractions in acid-pretreated bamboo residues on its enzymatic digestibility. *Biotechnology for Biofuels*, 14(1), 1–15. <https://doi.org/10.1186/s13068-021-01994-y>
- Lorenci Woiciechowski, A., Dalmas Neto, C. J., Porto de Souza Vandenberghe, L., de Carvalho Neto, D. P., Novak Sydney, A. C., Letti, L. A. J., Karp, S. G., Zevallos Torres, L. A., & Soccol, C. R. 2020. Lignocellulosic biomass: Acid and alkaline pretreatments and their effects on biomass recalcitrance – Conventional processing and recent advances. *Bioresource Technology*, 304(October 2019), 122848. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.122848>
- Lovisia, E. 2022. Bioetanol dari Singkong Sebagai Energi Alternatif. *Science and Phsic Education Journal*, 6. <https://doi.org/10.31539/spej.v6i1.5007%0ABIOETANOL>
- Maridjo, Yuliyani, I., & R, A. 2019. Pengaruh pemakaian bahan bakar premium, pertalite dan pertamax terhadap kinerja motor 4 tak. *Jurnal Teknik Energi*, 9(1), 73–78. <https://doi.org/10.35313/energi.v9i1.1648>
- McCaul, K. 2017. A multiscale modelling framework for the processes involved in consolidated bioprocessing. *AIChE Annual Meeting, Conference Proceedings*, 1–169.
- Mei, J., Shen, X., Gang, L., Xu, H., Wu, F., & Sheng, L. 2020. A novel lignin degradation bacteria-Bacillus amyloliquefaciens SL-7 used to degrade straw lignin efficiently. *Bioresource Technology*, 310(100), 123445. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.123445>
- Nababan, M., Gunam, I. B. W., & Mahaputra Wijaya, I. M. 2019. Produksi Enzim Selulase Kasar Dari Bakteri Selulolitik. *Jurnal Rekayasa Dan Manajemen Agroindustri*, 7(2), 190. <https://doi.org/10.24843/jrma.2019.v07.i02.p03>
- Nafi'ah, R., & Primadevi, S. 2019. Optimasi Waktu Fermentasi Dan Konsentrasi Yeast Pada Proses Pembuatan Etanol Dari Nira Tebu Sebagai Bahan Baku Obat Kimia. *Cendekia Journal of Pahrarmacy*, 3(2), 59–65.
- Niam, F., & Susila, W. 2022. Uji Performa Mesin Sepeda Motor Honda Supra 125 Tahun 2008 Berbahan Bakar Campuran Antara Premium Dan Bioethanol Dari Umbi. *Jurnal Teknik Mesin*. <https://ejournal.unesa.ac.id/index.php/jtm->

unesa/article/view/48230%0Ahttps://ejournal.unesa.ac.id/index.php/jtm-
unesa/article/download/48230/40279

- Nishimura, H., Kamiya, A., Nagata, T., Katahira, M., & Watanabe, T. 2018. Direct evidence for α ether linkage between lignin and carbohydrates in wood cell walls. *Scientific Reports*, 8(1), 1–11. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-24328-9>
- Novia, N., Hasanuddin, H., Cindy, T., & Firdha Wani, C. 2023. Enhanced bioethanol production by H₂O₂ pretreatment- hydrolysis-fermentation of rice husk. *AIP Conference Proceedings* 2689, 060009 (2023), 571, 124–128. <https://doi.org/10.1063/5.0116335>
- 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>
- Oktavia, F. 2018. Pemanfaatan Bonggol Pisang Kepok (*Musa Paradisiaca* L.) Sebagai Bioetanol. *Jurnal Integrasi Proses*, 7(1), 1–6. <https://doi.org/10.36055/jip.v7i1.2569>
- Oktoh, D., Otieno, S., Kiema, F., Onyango, D., & Kowenje, C. 2024. Optimization of parameters for bio-ethanol production from sweet sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) stalk juice and finger millet malt using Taguchi method. *African Journal Online*, 38(1), 55–67. <https://dx.doi.org/10.4314/bcse.v38i1.5>
- Ozer Uyar, G. E., & Uyar, B. 2023. Potato peel waste fermentation by *Rhizopus oryzae* to produce lactic acid and ethanol. *Food Science and Nutrition*, 1–9. <https://doi.org/10.1002/fsn3.3670>
- Periyasamy, S., Beula Isabel, J., Kavitha, S., Karthik, V., Mohamed, B. A., Gizaw, D. G., Sivashanmugam, P., & Aminabhavi, T. M. 2023. Recent advances in consolidated bioprocessing for conversion of lignocellulosic biomass into bioethanol – A review. *Chemical Engineering Journal*, 453(P1), 139783. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2022.139783>
- Pratiwi, N., & Ardiansyah, S. 2022. Pemanfaatan Limbah Pertanian Sebagai Substrat Untuk Memproduksi Enzim Selulase Oleh *Aspergillus Niger*. *Jurnal Pengembangan Agroindustri Terapan*, 1(1).
- Purba, J. S., & Saragi, J. F. H. 2021. Pembuatan Bioetanol Dari Tebu. *Simetris: Jurnal Teknik Mesin, Elektro Dan Ilmu Komputer*, 11(2), 410–416. <https://doi.org/10.24176/simet.v11i2.5349>
- Putra, M. R. Y., Sulistyaningrum, I., & Limandari, S. H. 2022. Potensi Hand Sanitizer Dari Bioetanol Mesocarp Buah Lontar Dengan Penambahan Minyak Zaitun. *Jurnal Ilmiah Penalaran Dan Penelitian Mahasiswa*, 6(2), 51–61.

- Putra, Y. M., Sorta, A., Limbong, U., Yulianti, N., Lestari, J. D., & Rainadi, A. M. 2022. Kajian Sumber Energi Baru Terbarukan Di Sumatera Selatan Untuk Mengatasi Krisis Energi. Prosiding Seminar Nasional BSKJI “Post Pandemic Economy Recovery,” 1(1), 21–30.
- R. Paul Singh, Dennis R. Heldman, R. P. S. 2009. *Introduction to Food Engineering Fourth Edition*. Elsevier.
- Rahayu, L. H., Sriyana, H. Y., Rysha, L., Studi, P., Kimia, T., & Katolik, P. 2023. Modifikasi Pati Kimpul (*Xanthosoma sagittifolium*) Dengan Hidrolisis Enzimatik. *Chemtag-Journal of Chemical Engineering*, 4(September), 45–52.
- Rahmawati, S., Yerizam, M., & Dewi, E. 2023. Konversi Ampas Tebu dan Sabut Kelapa Menjadi Bioetanol dengan Metode Hidrolisis Enzimatik. *Jurnal Pendidikan Tambusai*, 7, 21942–21948.
- Sadh, P. K., Duhan, S., & Duhan, J. S. 2018. Agro-industrial wastes and their utilization using solid state fermentation: a review. *Bioresources and Bioprocessing*, 5(1), 1–15. <https://doi.org/10.1186/s40643-017-0187-z>
- Samad, K. A., Zainol, N., Yussof, H. W., Khushairi, Z. A., Mohd Sharif, N. S. A., & Mohd Syukri, N. S. 2020. Isolation, identification and characterization of soil bacteria for the production of ferulic acid through co-culture fermentation using banana stem waste. *SN Applied Sciences*, 2(3). <https://doi.org/10.1007/s42452-020-2151-3>
- Samara, F. S., Novia, N., & Melwita, E. 2024. *Enzymatic hydrolysis of cellulose banana stem*. 4(1), 21–30. <http://doi.org/10.51662/jiae.v4i1.120>
- Samuel Agu, O., G. Tabil, L., & Dumonceaux, T. 2022. Enzymatic Saccharification of Canola Straw and Oat Hull Subjected to Microwave-Assisted Alkali Pretreatment. *Alkaline Chemistry and Applications*, June. <https://doi.org/10.5772/intechopen.96394>
- Santiago-Gómez, M., Hernández-Mendoza, A. G., & Martínez-Hernández, S. 2023. Ethanol production from Agave salmiana leaves by semi and simultaneous saccharification and fermentation at high temperature using *Kluyveromyces marxianus*. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 50(January), 102703. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2023.102703>
- Sanusi, M., Uloli, H., Arafat, M. Y., Pd, S., & Pd, M. 2019. Pengaruh Variasi Jenis Bahan Bakar Terhadap Emisi Gas Buang Pada Sepeda Motor Vixion 155 CC Vva Tipe Injeksi Tahun 2018. *Seminar Nasional Teknologi*, 2019(November), 202–209.
- Sari, M. K., & Rusdiarso, B. 2022. Indonesian Journal of Chemical State University of Medan. *Indonesian Journal of Chemical Science and Techonology*, 05(1), 31–41.

- Sawarkar, A. N., Kirti, N., Tagade, A., & Tekade, S. P. 2022. Bioethanol from various types of banana waste: A review. *Bioresource Technology Reports*, 18(March), 101092. <https://doi.org/10.1016/j.biteb.2022.101092>
- Setiawan, E. W., & Muhaji. 2023. Uji Kinerja Mesin 4 Langkah Dengan Bahan Bakar Campuran Bioetanol Dari Limbah Umbi Batang Pisang Raja Dan Pertalite. *Jurnal Teknik Mesin*, 11, 0–5.
- Shimizu, F. L., Monteiro, P. Q., Ghiraldi, P. H. C., Melati, R. B., Pagnocca, F. C., Souza, W. de, Sant'Anna, C., & Brienza, M. 2018. Acid, alkali and peroxide pretreatments increase the cellulose accessibility and glucose yield of banana pseudostem. *Industrial Crops and Products*, 115(January), 62–68. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.02.024>
- Shitophyta, L. M., Zhirmayanti, R. S., Khoirunnisa, H. A., Amelia, S., & Rauf, F. 2023. Production of Bioethanol from Kepok Banana Peels (*Musa acuminata* x *Musa balbisiana*) using Different Types of Yeast. *G-Tech: Jurnal Teknologi Terapan*, 7(3), 897–903. <https://doi.org/10.33379/gtech.v7i3.2621>
- SNI DT-27-0001-2006. n.d. *Standar Nasional Indonesia Kualitas Bioetanol*. <https://www.academia.edu/3681051/bioethanol>
- Sofiah, Yuniar, & Rani, D. A. 2019. Pembuatan Bioetanol dari Umbi Singkong Karet (*Manihot Glaziovii*) yang Dihidrolisis Asam dan Enzim. *Prosiding Seminar Nasional II Hasil Litbangyasa Industri*, 174–180.
- Somaprabha, A., Saravanan, K., & Durairaj, K. 2022. Evaluation and Production of Bioethanol Using Agricultural Waste With Banana Pseudostem and Peels of Pine Apple and Banana Peel. *International Research Journal of Modernization in Engineering Technology and Science*, 12. <https://doi.org/10.56726/irjmets32594>
- Srinivasan, B. 2022. A guide to the Michaelis–Menten equation: steady state and beyond. *FEBS Journal*, 289(20), 6086–6098. <https://doi.org/10.1111/febs.16124>
- Sugiarto, B., Setyo Wibowo, C., Zikra, A., Budi, A., & Mulya, T. 2018. Characteristic of gasoline fuels in Indonesia blend with varying percentages of bioethanol. *E3S Web of Conferences*, 67, 1–4. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20186702031>
- Sulaeman. 2022. *Fantastis, Konsumsi BBM Sepeda Motor di Indonesia Tembus Rp1,55 Triliun per Hari*. Merdeka.Com. <https://www.merdeka.com/uang/fantastis-konsumsi-bbm-sepeda-motor-di-indonesia-tembus-rp155-triliun-per-hari.html>
- Sulieman, A. M. E. 2022. *Microorganisms Involved in Spontaneous Fermentation and their Health Risk BT - African Fermented Food Products- New Trends* (A. M. Elhadi Sulieman & A. Adam Mariod (eds.); pp. 45–58). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-82902-5_5

- Sulistiawan, A. 2022. *Pengembangan Bioetanol dari Umbi Iles-Iles dengan Metode Fermentasi Hidrolisisat untuk Bahan Bakar Alternatif Agus Sulistiawan dkk / Jurnal Rekayasa Mesin*. 17(3), 455–462.
- Supramono, D. 2023. Teknologi Pirolisis untuk Kemajuan Industri Kimia berbasis Biomassa Teknologi Pirolisis untuk Kemajuan Industri Kimia berbasis Biomassa. In *Teknologi Pirolisis untuk Kemajuan Industri Kimia berbasis Biomassa*.
- Susmanto, P., Yandriani, Y., Dania, B., & Ellen, E. 2020. Pengaruh Jenis Nutrient Dan Waktu Terhadap Efisiensi Substrat Dan Kinetika Reaksi Fermentasi Dalam Produksi Bioetanol Berbahan Baku Biji Durian. *Jurnal Integrasi Proses*, 9(2), 1. <https://doi.org/10.36055/jip.v9i2.8056>
- Sydor, M., Cofta, G., Doczekalska, B., & Bonenberg, A. 2022. Fungi in Mycelium-Based Composites: Usage and Recommendations. *Materials*, 15(18), 1–34. <https://doi.org/10.3390/ma15186283>
- Tang, J., Chen, J., Chen, D., Li, Z., Huang, D., & Luo, H. 2022. Structural Characteristics and Formation Mechanism of Microbiota Related to Fermentation Ability and Alcohol Production Ability in Nongxiang Daqu. *Foods*, 11(17). <https://doi.org/10.3390/foods11172602>
- Tekin, N., Karatay, S. E., & Dönmez, G. 2023. Optimization studies about efficient biobutanol production from industrial tea waste by *Clostridium beijerinckii*. *Fuel*, 331(August 2022). <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2022.125763>
- Tomczak, J. M., & Węglarz-Tomczak, E. 2019. Estimating kinetic constants in the Michaelis–Menten model from one enzymatic assay using Approximate Bayesian Computation. *FEBS Letters*, 593(19), 2742–2750. <https://doi.org/10.1002/1873-3468.13531>
- Vieira, R. C., De Farias Silva, C. E., da Silva, L. O. M., Almeida, R. M. R. G., de Oliveira Carvalho, F., & dos Santos Silva, M. C. 2020. Kinetic modelling of ethanolic fermented tomato must (*Lycopersicon esculentum* Mill) in batch system: influence of sugar content in the chaptalization step and inoculum concentration. *Reaction Kinetics, Mechanisms and Catalysis*, 130(2), 837–862. <https://doi.org/10.1007/s11144-020-01810-y>
- Wang, M., Qiao, J., Sheng, Y., Wei, J., Cui, H., & Li, X. 2023. Bioconversion of corn fiber to bioethanol: Status and perspectives. *Waste Management*, 157(August 2022), 256–268. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2022.12.026>
- Weng, C., Peng, X., & Han, Y. 2021. Depolymerization and conversion of lignin to value-added bioproducts by microbial and enzymatic catalysis. *Biotechnology for Biofuels*, 14(1), 1–22. <https://doi.org/10.1186/s13068-021-01934-w>
- Widyastuti, P. 2019. Pengolahan Limbah Kulit Singkong Sebagai Bahan. *Jurnal*

Kompetensi Teknik, 11(1), 41–46.

- Xie, X., Chen, M., Tong, W., Song, K., Wang, J., Wu, S., Hu, J., Jin, Y., & Chu, Q. 2023. Comparative study of acid- and alkali-catalyzed 1,4-butanediol pretreatment for co-production of fermentable sugars and value-added lignin compounds. *Biotechnology for Biofuels and Bioproducts*, 16(1), 1–16. <https://doi.org/10.1186/s13068-023-02303-5>
- Yamakawa, C. K., Rojas, S. T., Herrera, W. E., Rossell, C. E. V., Maciel, M. R. W., & Maciel Filho, R. 2023. Recovery and characterization of cellulosic ethanol from fermentation of sugarcane bagasse. *Chemical Engineering Research and Design*, 196, 568–576. <https://doi.org/10.1016/j.cherd.2023.06.053>
- Yan, X., Deng, P., Ding, T., Zhang, Z., Li, X., & Wu, Z. 2023. Effect of Temperature on Anaerobic Fermentation of Poplar Ethanol Wastewater: Performance and Microbial Communities. *ACS Omega*, 8(6), 5486–5496. <https://doi.org/10.1021/acsomega.2c06721>
- Yan, Z., Wang, Z., Chen, Y., Liu, C., Liu, Y., Li, R., Si, M., & Shi, Y. 2023. Preparation of lignin nanoparticles via ultra-fast microwave-assisted fractionation of lignocellulose using ternary deep eutectic solvents. *Biotechnology and Bioengineering*, 120(6), 1557–1568. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/bit.28373>
- Yang, J., Gao, C., Yang, X., Su, Y., Shi, S., & Han, L. 2022. Effect of combined wet alkaline mechanical pretreatment on enzymatic hydrolysis of corn stover and its mechanism. *Biotechnology for Biofuels and Bioproducts*, 15(1), 1–11. <https://doi.org/10.1186/s13068-022-02130-0>
- Yeganeh, M., Rezvani, M. H., & Laribaghali, S. M. 2021. Lignocellulosic ethanol and butanol production by *Saccharomyces cerevisiae* and *Clostridium beijerinckii* co-culture using non-detoxified corn stover hydrolysate. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 127120. <https://doi.org/10.1016/j.jbiotec.2023.11.002>
- Zelvi, M., Suryani, A., & Setyaningsih, D. 2017. Hidrolisis *Eucheuma Cottonii* Dengan Enzim K-Karagenase Dalam Menghasilkan Gula Reduksi Untuk Produksi Bioetanol. *Jurnal Teknologi Industri Pertanian*, 27(1), 33–42. <https://doi.org/10.24961/j.tek.ind.pert.2017.27.1.33>
- Zhang, W., Liu, J., Wang, Y., Sun, J., Huang, P., & Chang, K. 2021. Effect of ultrasound on ionic liquid-hydrochloric acid pretreatment with rice straw. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 11(5), 1749–1757. <https://doi.org/10.1007/s13399-019-00595-y>
- Zhou, Z., Peng, S., Jing, Y., Wei, S., Zhang, Q., Ding, H., & Li, H. 2023. Exploration

of separate hydrolysis and fermentation and simultaneous saccharification and co-fermentation for acetone, butanol, and ethanol production from combined diluted acid with laccase pretreated Puerariae Slag in *Clostridium beijerinckii* ART44. *Energy*, 279(December 2022), 128063. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2023.128063>

Zulnazri, Z., Maulana, A., Muarif, A., Sylvia, N., & Dewi, R. 2023. Production Of Bioethanol From Banana Peel (*Musa Paradisiaca* L.) Using Sulfuric Acid Catalyst. *Jurnal Teknologi Kimia Unimal*, 12(1), 97. <https://doi.org/10.29103/jtku.v12i1.11654>