

TESIS

**PRODUKSI BIOETANOL DARI SABUT KELAPA
DENGAN METODE OZONOLISIS-HIDROLISIS-
FERMENTASI-DISTILASI-ADSORPSI SILIKA GEL**



**DINAH WIKA MAHARANI
03012682226002**

**PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK KIMIA
JURUSAN TEKNIK KIMIA
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SRIWIJAYA
2024**

HALAMAN PENGESAHAN

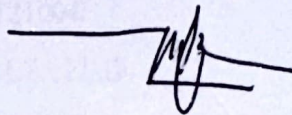
**PRODUKSI BIOETANOL DARI SABUT KELAPA DENGAN
METODE OZONOLISIS-HIDROLISIS-FERMENTASI-
DISTILASI-ADSORPSI SILIKA GEL**

TESIS

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

Palembang, Desember 2024

**Menyetujui,
Pembimbing**



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

Mengetahui,

✓ Ketua Jurusan Teknik Kimia



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



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

HALAMAN PERSETUJUAN

Karya tulis ilmiah berupa Laporan Tesis ini dengan judul "Produksi Bioetanol Dari Serabut Kelapa Dengan Metode Ozonolisis-Hidrolisis-Fermentasi-Distilasi-Adsorpsi Silika Gel" telah dipertahankan di hadapan Tim Penguji Karya Tulis Ilmiah Program Studi Magister Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya pada Desember 2024

Palembang, Desember 2024

Tim Penguji Karya Tulis Ilmiah berupa Laporan Tesis

Ketua :

1. Dr. Selpiana, S.T, M.T

NIP. 197809192003122001

(.....)

Anggota:

1. Dr. Budi Santoso, S.T, M.T

NIP. 1977060520031210041

(.....)

2. M. Rendana, B.Sc, M.Sc, Ph.D

NIP. 199204022019031017

(.....)

Mengetahui,

Dekan Fakultas Teknik

Universitas Sriwijaya



Dr. Bhakti Yudho Suprpto, S.T., M.T., IPM

NIP. 197502112003121002

✓ Ketua Jurusan Teknik Kimia,

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

NIP. 197502012000122001

HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Dinah Wika Maharani

NIM : 03012682226002

Judul : Produksi Bioetanol Dari Sabut Kelapa Dengan Metode Ozonolisis- Hidrolisis-Fermentasi-Distilasi-Adsorpsi Silika Gel

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, Desember 2024

Yang Membuat Pernyataan,



Dinah Wika Maharani

NIM. 03012682226002

RINGKASAN

PRODUKSI BIOETANOL DARI SABUT KELAPA DENGAN METODE OZONOLISIS-HIDROLISIS-FERMENTASI-DISTILASI-ADSORPSI SILIKA GEL

Karya tulis ilmiah berupa Tesis, Desember 2024

Dinah Wika Maharani, Dibimbing oleh Prof. Dr. Ir. H. M. Faizal, DEA dan Elda Mewita, ST., MT., Ph.D

Bioethanol Production From Coconut Coir Using Ozonolysis-Hydrolysis-Fermentation-Distillation-Silica Gel Adsorption Method

xii + 56 halaman, 4 Tabel, 22 Gambar, 4 lampiran

RINGKASAN

Pemanfaatan sabut kelapa sebagai bioetanol merupakan solusi inovatif untuk mendapatkan nilai tambah dari limbah pertanian di wilayah Sumatera Selatan. Sabut kelapa memiliki kandungan lignin yang tinggi, sehingga memerlukan proses delignifikasi untuk meningkatkan ketersediaan selulosa yang dapat dihidrolisis. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh waktu ozonolisis terhadap kadar lignin dan selulosa, volume bioetanol yang dihasilkan, serta pengaruh jumlah silika gel dalam proses adsorpsi bioetanol. Metode yang digunakan meliputi tahapan ozonolisis, hidrolisis, fermentasi, distilasi, dan adsorpsi dengan silika gel. Hasil penelitian menunjukkan bahwa ozonolisis selama 25 menit berhasil menurunkan kadar lignin sebesar 8,3% dan meningkatkan kadar selulosa sebesar 3,1%. Perlakuan ozonolisis yang optimal meningkatkan volume hingga 500 mL bioetanol setelah fermentasi selama 7 hari, dengan penambahan NaOH untuk menstabilkan pH pada 4,5. Penggunaan 10 gram silika gel putih selama 60 menit memberikan hasil kadar etanol sebesar 97% dari analisa GC-MS.

Kata Kunci: Sabut kelapa, ozonolisis, adsorpsi, silika gel putih, bioetanol

SUMMARY

BIOETHANOL PRODUCTION FROM COCONUT COIR USING OZONOLYSIS-HYDROLYSIS-FERMENTATION-DISTILLATION-SILICA GEL ADSORPTION METHOD

Scientific paper in the form of Tesis, December 2024

Dinah Wika Maharani, Supervised by Prof. Dr. Ir. H. M. Faizal, DEA and Elda
Mewita, ST., MT., Ph.D

Produksi Bioetanol Dari Sabut Kelapa Dengan Metode Ozonolisis-Hidrolisis-
Fermentasi-Distilasi-Adsorpsi Silika Gel

xii + 56 pages, 4 Tables, 22 Pictures, 4 Appendix

SUMMARY

The utilization of coconut coir as a feedstock for bioethanol production offers an innovative approach to valorize agricultural residues in the South Sumatra region. Given the high lignin content of coconut coir, a lignin removal pretreatment was necessary to enhance the accessibility of cellulose for hydrolysis. This study investigated the impact of ozonolysis duration on lignin and cellulose content, efficacy of silica gel adsorption. The experimental design involved ozonolysis, hydrolysis, fermentation, distillation, and silica gel adsorption. Results revealed that 25 minutes of ozonolysis significantly reduced lignin content by 8,3% while increasing cellulose content by 3,1%. Optimal ozonolysis conditions, coupled with pH stabilization at 4.5 using NaOH, led to enhanced 500 mL bioethanol volume after 7 days fermentation. The application of 10 grams of white silica gel for 60 minutes showed an ethanol content of 97% from GC-MS analysis.

Keywords: coconut coir, ozonolysis, adsorption, white silica gel, bioethanol

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis ucapkan kehadiran Allah SWT. yang telah melimpahkan rahmat, hidayah, serta karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tesis yang berjudul “Produksi Bioetanol Dari Sabut Kelapa Dengan Metode Ozonolisis-Hidrolisis-Fermentasi-Distilasi-Adsorpsi Silika Gel”. Tesis ini disusun sebagai salah satu syarat untuk mendapatkan gelar Magister Teknik (M.T.) pada Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya. Penulis menyadari bahwa dalam proses penyusunan tesis ini, terdapat banyak pihak yang memberikan dukungan, bantuan, dan bimbingan yang sangat berarti. Oleh karena itu, dengan segala kerendahan hati, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Orang tua dan keluarga tercinta yang telah memberikan dukungan, doa dan motivasi yang bijaksana sehingga usulan tesis dapat diselesaikan.
2. Ibu Dr. Tuti Indah Sari, S.T., M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya.
3. Ibu Dr. Selpiana, S.T, M.T selaku Koordinator Prodi Magister Teknik Kimia Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya.
4. Bapak Prof. Dr. Ir. Muhammad Faizal, DEA. selaku dosen pembimbing I.
5. Ibu Elda Melwita, S.T., M.T., Ph.D. selaku dosen pembimbing II.
6. Kepala laboratorium dan analis Laboratorium Rekayasa Proses Produksi Industri Kimia Universitas Sriwijaya serta kepala laboratorium dan analis Laboratorium Teknik Separasi dan Purifikasi.
7. Teman-teman seperjuangan di Magister Teknik Kimia Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya.

Palembang, Desember 2024

Penulis

DAFTAR ISI

| | |
|---------------------------------------|------|
| RINGKASAN | ii |
| KATA PENGANTAR | iv |
| DAFTAR ISI..... | v |
| DAFTAR TABEL..... | viii |
| DAFTAR GAMBAR | ix |
| DAFTAR LAMPIRAN..... | xi |
| BAB I | 1 |
| PENDAHULUAN..... | 1 |
| 1.1 Latar Belakang..... | 1 |
| 1.2 Rumusan Masalah..... | 3 |
| 1.3 Tujuan Penelitian..... | 3 |
| 1.4 Manfaat Penelitian..... | 4 |
| 1.5 Hipotesis | 4 |
| 1.6 Ruang Lingkup Penelitian | 4 |
| BAB II..... | 5 |
| TINJAUAN PUSTAKA..... | 5 |
| 2.1 Sabut Kelapa..... | 5 |
| 2.2 Komposisi Serat Kelapa | 6 |
| 2.3 Lignoselulosa..... | 7 |
| 2.3.1. Selulosa | 7 |
| 2.3.2. Hemiselulosa | 8 |
| 2.3.3 Lignin | 9 |
| 2.4 Ozonolisis | 10 |

| | | |
|-----------------------------|---|----|
| 2.5 | Hidrolisis | 11 |
| 2.5.1. | Hidrolisis Asam..... | 11 |
| 2.5.2. | Hidrolisis Enzimatik..... | 12 |
| 2.6 | Fermentasi | 13 |
| 2.7 | Distilasi..... | 14 |
| 2.8 | Adsorpsi..... | 14 |
| 2.8.1 | Silika Gel..... | 15 |
| 2.8.2 | Karakteristik silika gel | 16 |
| 2.8.3 | Mekanisme Kerja silika gel..... | 16 |
| 2.8.4 | Jenis-Jenis Silika Gel | 16 |
| 2.9 | Bioetanol..... | 18 |
| 2.9.1 | Karakteristik Bioetanol | 18 |
| 2.9.2 | Klasifikasi Bioetanol berdasarkan sumbernya | 19 |
| 2.10 | Penelitian Terdahulu..... | 20 |
| BAB III..... | | 22 |
| METODOLOGI PENELITIAN | | 22 |
| 3.1 | Tempat Penelitian..... | 22 |
| 3.2 | Alat dan Bahan | 22 |
| 3.2.1. | Alat..... | 22 |
| 3.2.2. | Bahan | 22 |
| 3.3 | Prosedur Penelitian..... | 22 |
| 3.3.1 | Proses Preparasi Bahan Baku..... | 22 |
| 3.3.2 | Pre-treatment..... | 22 |
| 3.3.3 | Hidrolisis | 23 |
| 3.3.4 | Proses Fermentasi..... | 23 |
| 3.3.5 | Proses Distilasi | 23 |
| 3.3.6 | Proses Dehidrasi/Adsorpsi | 24 |
| 3.4 | Skema Alat | 24 |
| 3.5 | Metode Analisa..... | 24 |

| | |
|--|----|
| 3.5.1 Uji Kadar Selulosa dan Lignin Metode Chesson-Datta..... | 24 |
| 3.5.2 Uji Kadar Glukosa..... | 25 |
| 3.5.3 Uji Gas Kromatografi..... | 26 |
| 3.6 Diagram Alir Penelitian..... | 27 |
| BAB IV | 28 |
| HASIL DAN PEMBAHASAN..... | 28 |
| 4.1 Pengaruh Waktu Ozonolisis Terhadap Kadar Lignin dan Selulosa | 28 |
| 4.2 Pengaruh Selulosa Terhadap Kadar Glukosa | 31 |
| 4.3 Pengaruh Waktu Delignifikasi Terhadap Kadar Etanol | 31 |
| 4.4 Pengaruh Pemurnian Bioetanol | 32 |
| 4.5 Pengaruh Waktu Adsorpsi Terhadap Volume Bioetanol | 33 |
| 4.6 Analisa GC-MS | 37 |
| BAB V..... | 38 |
| KESIMPULAN DAN SARAN..... | 38 |
| 5.1 Kesimpulan..... | 38 |
| 5.2 Saran..... | 38 |
| DAFTAR PUSTAKA | 39 |

DAFTAR TABEL

| | |
|--|----|
| Tabel 2.1 Kandungan Sabut Kelapa | 6 |
| Tabel 2.2 Sifat Fisik Silika Gel | 15 |
| Tabel 2.3 Standar Mutu Biofuel Jenis Bioetanol | 19 |
| Tabel 2.4 Penelitian Terdahulu | 20 |

DAFTAR GAMBAR

| | |
|--|----|
| Gambar 2.1 Sabut Kelapa | 5 |
| Gambar 2.2 Struktur Lignoselulosa | 8 |
| Gambar 2.3 Struktur Selulosa | 8 |
| Gambar 2.4 Struktur Hemiselulosa | 9 |
| Gambar 2.5 Struktur Lignin | 9 |
| Gambar 2.6 Proses Ozonolisis | 10 |
| Gambar 2.7 Mekanisme Hidrolisis Asam | 11 |
| Gambar 2.8 Mekanisme Hidrolisis Enzimatik | 12 |
| Gambar 2.9 Silika Gel Natural | 17 |
| Gambar 2.10 Silika Gel White | 17 |
| Gambar 2.11 Silika Gel Blue | 17 |
| Gambar 3.1 Rangkaian Alat Ozonolisis | 24 |
| Gambar 3.2 Rangkaian Alat adsorpsi..... | 24 |
| Gambar 4.1 Pengaruh Ozonolisis Terhadap Kadar Lignin dan Selulosa..... | 28 |
| Gambar 4.2 Pengaruh Selulosa terhadap Kadar Glukosa | 29 |
| Gambar 4.3 Pengaruh Waktu Ozonolisis Terhadap Kadar Etanol..... | 30 |
| Gambar 4.4 Pengaruh Waktu Adsorpsi Terhadap Volume Pada Sampel 10 Menit Ozonolisis..... | 31 |
| Gambar 4.5 Pengaruh Waktu Adsorpsi Terhadap Volume Pada Sampel 15 Menit Ozonolisis..... | 32 |
| Gambar 4.6 Pengaruh Waktu Adsorpsi Terhadap Volume Pada Sampel 20 Menit Ozonolisis..... | 32 |

| | |
|---|----|
| Gambar 4.7 Pengaruh Waktu Adsorpsi Terhadap Volume Pada Sampel 25 Menit | |
| Ozonolisis..... | 33 |
| Gambar 4.8 Pengaruh Waktu Adsorpsi Terhadap Volume Pada Sampel 10 g | |
| Ozonolisis..... | 33 |
| Gambar 4.9 Hasil Analisa GC-MS Pada Sampel 20 menit Ozonolisis..... | 30 |

DAFTAR LAMPIRAN

| | |
|---|----|
| LAMPIRAN A ALAT DAN BAHAN | 47 |
| LAMPIRAN B DOKUMENTASI PENELITIAN | 50 |
| LAMPIRAN C DATA HASIL PENELITIAN | 53 |
| LAMPIRAN D PERHITUNGAN..... | 55 |

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dalam mendukung transformasi menuju *net zero emission* sebagai pencegahan perubahan iklim dan mendukung energi bersih dimasa yang akan datang, pemerintah merealisasikan beberapa prinsip yaitu meningkatkan porsi energi baru terbarukan dalam konsumsi energi, mengurangi emisi dari pembakaran bahan bakar fosil melalui elektrifikasi transportasi dan peningkatan efisiensi energi, serta mengelola karbon dioksida melalui teknologi penangkapan dan penyimpanan karbon (ESDM, 2022). Biofuel termasuk kategori bahan bakar baru dan terbarukan dari sumber bahan organik seperti tanaman, alga, dan limbah organik sehingga menghasilkan bahan bakar nabati yang ramah lingkungan (Alsari dan Amalia, 2023).

Lignoselulosa merupakan bagian dari sel tumbuhan, salah satu komponennya yaitu selulosa. Selulosa berpotensi sebagai bahan baku yang dapat diproses hingga menghasilkan bioetanol. Bioetanol terbagi atas beberapa kategori/generasi berdasarkan sumber lignoselulosa. Bioetanol generasi pertama yang dihasilkan dari pati, bioetanol generasi kedua dihasilkan dari produk samping hasil pertanian (Jambo dkk, 2016). Beberapa daerah di Sumsel merupakan penghasil kelapa terbesar, yaitu Kabupaten Banyuasin sebanyak 46.716 ton, Musi Banyuasin sebanyak 6.350 ton, dan Kabupaten Ogan Komering Ilir (OKI) 1.705 ton (Disbun Sumsel, 2022).

Sabut kelapa memiliki kandungan polisakarida total (50,9%) dari serat, 32,8% glukosa sebagai komponen utama, yang sebagian besar berasal dari alfa selulosa, 40-45 % (Mishra dan Basu, 2020). Sabut kelapa mengandung 43,40 % selulosa (Jannah dan Asip, 2015). Komposisi kimia sabut kelapa (selulosa dan glukosa) dapat menghasilkan bioethanol melalui proses fermentasi. Dalam mengubah struktur lignoselulosa diperlukan tahapan delignifikasi karena berpengaruh terhadap selulosa yang akan di ubah menjadi karbohidrat kemudian di konversi menjadi glukosa sehingga menghasilkan produk bioetanol.

Setelah delignifikasi dilanjutkan dengan hidrolisis dan fermentasi kemudian menghasilkan bioetanol. Untuk memaksimalkan kualitas produk bioetanol diperlukan proses pemurnian meliputi distilasi dan adsorpsi. Berdasarkan penelitian (Milati dkk, 2009) kemurnian etanol sebesar 77% tanpa perlakuan distilasi. Umumnya bioetanol hasil fermentasi sebesar 5-10% (v/v), bioetanol dapat dikategorikan sebagai bahan bakar ketika memiliki nilai kemurnian yang tinggi yaitu 99,5% (Saputro dkk, 2023). Produk etanol dari fermentasi-ekstraksi berupa *broth* (mengandung bahan pengotor). *Broth* diekstraksi dengan *solvent* untuk menghasilkan produk terbaik (Nurhayati dkk, 2024).

Etanol-air tidak dapat dipisahkan menggunakan distilasi konvensional karena sifat azeotrop (Suhatro dkk, 2020). Proses dehidrasi yaitu melakukan perendaman adsorben atau adsorpsi (Khaidir dkk, 2012). Adsorpsi merupakan proses yang tepat dalam murnikan etanol (Mekala dkk, 2022) dan air yang terkandung dalam bioetanol dapat memicu ketidakstabilan dalam penggunaannya. Bioetanol yang lebih murni memiliki nilai kalor yang lebih tinggi, sehingga lebih efisien sebagai bahan bakar. Dengan menghilangkan air dapat meningkatkan efisiensi pembakaran bioetanol.

Adsorben yang digunakan seperti zeolite, batu gamping (Heriwati dkk, 2021), batu kapur (Khasanah dan Susila, 2020), dan silica gel (Karimi dkk, 2019) sebagai adsorben dapat menyerap air dari bioethanol dan menghasilkan bioethanol murni. Silika gel dipilih sebagai adsorben karena memiliki ketahanan terhadap suhu tinggi dan berkontribusi secara efektif dalam mengurangi emisi gas rumah kaca (Wang dkk, 2013), memiliki kemampuan menyerap uap air yang tinggi, dapat digunakan berulang kali, bernilai ekonomi yang rendah. Struktur biomassa yang rumit juga menimbulkan tantangan yang memerlukan *pre-treatment* biomassa dalam menghasilkan bioethanol agar biomassa menjadi amorf sehingga dapat dijangkau enzim (Singhania dkk, 2022).

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan produksi bioetanol dengan bahan baku dari limbah kelapa yaitu sabut kelapa sebagai sumber energi baru. Metode yang digunakan adalah proses ozonolisis, hidrolisis, fermentasi, distilasi dan

adsorpsi. Langkah awal melibatkan delignifikasi dengan proses ozonolisis, ozon yang bertugas memecahkan lignin sehingga meningkatkan selulosa yang berperan dalam pembentukan glukosa. Kemudian, dilanjutkan dengan hidrolisis asam H_2SO_4 yang bertujuan untuk mengurai selulosa dan hemiselulosa menjadi monosakarida yang dapat difermentasi menjadi bioetanol, dilanjutkan dengan pemurnian untuk meningkatkan kualitas sesuai dengan SNI.

Tahapan penelitian ini meliputi pre-treatment, pembuatan bioetanol, pemurnian, dan analisa. Tahapan analisa meliputi analisa kadar lignin dan selulosa dengan metode *chesson datta*, analisa gula pereduksi dengan metode DNS (*dinitrosalicylic*), dan analisa kadar etanol dengan *Gas Chromatography*. Tahapan ozonisasi, hidrolisis asam, dan proses fermentasi, distilasi, dan adsorpsi diharapkan dapat meningkatkan *efisiensi* produksi bioetanol dari sabut kelapa, sehingga memberikan kontribusi positif terhadap pengembangan energi terbarukan dan pengelolaan limbah industri kelapa.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dari penelitian ini:

1. Bagaimana pengaruh waktu ozonolisis terhadap kadar lignin dan selulosa sabut kelapa?
2. Bagaimana pengaruh ozonolisis terhadap volume produk bioetanol dari sabut kelapa?
3. Bagaimana pengaruh jumlah silika gel terhadap waktu adsorpsi bioetanol dari sabut kelapa?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan yang ingin dicapai pada penelitian ini:

1. Menganalisis pengaruh waktu ozonolisis terhadap kadar lignin dan selulosa sabut kelapa.
2. Menganalisis pengaruh ozonolisis terhadap volume produk bioetanol dari sabut kelapa.
3. Menganalisis pengaruh jumlah silika gel dan bioetanol terhadap waktu adsorpsi bioethanol dari sabut kelapa.

1.4 Manfaat Penelitian

1. Bagi praktikan, menambah pengetahuan proses pengolahan sabut kelapa menjadi bioethanol sebagai energi alternatif pengganti bahan bakar nabati yang ramah lingkungan.
2. Bagi peneliti, menambah wawasan mengenai pengaruh proses ozonolisis dan adsorpsi dalam pengolahan bioetanol dari sabut kelapa.
3. Bagi masyarakat, menambah wawasan terkait pengolahan sabut kelapa sebagai bahan baku pembuatan bioetanol.

1.5 Hipotesis

1. Waktu interaksi oksidator yang meningkat akan meningkatkan jumlah elektron yang terdegradasi.
2. Metode ozonolisis dapat mengurangi kandungan lignoselulosa tanpa perlakuan awal pH dengan hidrolisis dan fermentasi menghasilkan produk bioetanol yang maksimal.
3. Jumlah silika gel yang tinggi dan lama waktu kontak berpengaruh terhadap air yang terperap dalam pori silika gel.

1.6 Ruang Lingkup Penelitian

Penelitian pembuatan bioethanol dengan difokuskan pada analisis dan kajian sebagai berikut:

1. Sabut kelapa digunakan sebanyak 50 g dengan ukuran 60 mesh dengan total 4 sampel.
2. Waktu kontak *pre-treatment* ozonolisis (10, 15, 20, 25 menit) dan adsorpsi (15, 30, 45, 60 menit).
3. Jumlah adsorben silika gel putih (4, 6, 8, 10 gram).

DAFTAR PUSTAKA

- Aftab, M., Iqbal, I., Riaz, F., Karadag, A., dan Tabatabaei, M. 2019. *Different Pretreatment Methods of Lignocellulosic Biomass for Use in Biofuel Production*. IntechOpen.
- Aksari, S.A., Alvita, L.R., Silmi, F.F., Rezki, A.S., Hanifah, W. 2024. *Perbandingan Konsentrasi Asam Pekat (H_2SO_4) Dalam Proses Hidrolisis Terhadap Kadar Gula Pereduksi Kulit Kakao Sebagai Substrat Dalam Pembuatan Bioetanol*. Journal Applied of Science and Chemical Engineering Vol. 2, No. 1, Agustus 2024, pp. 07-13.
- Alsari, N. E. dan Amaria. 2023. *Pemanfaatan Zeolit Alam Aktif Sebagai Adsorben Bioetanol Ampas Tebu*. UNESA Journal of Chemistry Vol. 12, No. 2.
- Anggoro, D.D., Dewi, I.K., Buchori, L., dan Prasetyaningrum, A. 2023. *Parametric Optimization Of Oil Palm Mesocarp Fiber Valorization With Hybrid Ozonationultrasonic Pretreatment Method*. Iium Engineering Journal, Vol. 24, No. 2.
- Anugrah, R., Efri Mardawati¹, Selly Harnesa Putri¹, Tri Yuliani. 2020. *Karakterisasi bioetanol tandan kosong kelapa sawit dengan metode pemurnian adsorpsi (adsorpsi menggunakan adsorben berupa zeolit)*. Jurnal industri pertanian – volume 02. Nomor 01. Tahun 2020. Halaman 113 – 123
- Azimi, A., Javan, M.J., Ahmadi, S., Rouhani, M., dan Mirjafary, Z. 2024. *Unraveling the Ozonolysis Mechanism of Terpinolene: Insights from DFT Studies*. International Journal of New Chemistry, 2024, 11 (4), 443-456
- Banerjee, S. 2005. *Influence of process parameters on the production of metabolites in solid-state fermentation Malaysian*. Journal Microbiol. 1 1–9.
- Ben E.M., Manisova O.R., Lunin V.V. 2017. *Effect of Moisture Content on the Interaction between Lignocellulosic Materials and Ozone*. Russian Journal of Physical Chemistry, 91 (7), 1190, 2017.
- Bhatia, L. dan Johri, S. 2018. *Optimization of Simultaneous Saccharification and Fermentation Parameters for Sustainable Production of Ethanol from*

- Wheat Straw by Pichia Stipitis NCIM 3498*. Indian J. Exp. Biol. 2018, 56, 932–941.
- Cerveró, J.M., Skovgaard, P.A., Felby, C., Sørensen, H.R., dan Jørgensen, H. 2010. *Enzymatic hydrolysis and fermentation of palm kernel press cake for production of bioethanol*. Enzym. Microb. Technol. 2010, 46, 177–184.
- Chen, E.C., Pisarenko, A.N., Kolakovsky, A., Howe, E.W., Trussell R.S. & Trussell, R.R. 2020. *Evaluation of Four Dissolved Ozone Residual Meters' Performance and Disinfection Credits in Potable Reuse Applications*. Ozone: Science & Engineering. The Journal of the International Ozone Association. ISSN: 0191-9512
- Dogaris I, Vakontios G, Kalogeris E, Mamma D and Kekos D. 2009. *Induction of cellulases and hemicellulases from Neurospora crassa under solid-state cultivation for bioconversion of sorghum bagasse into ethanol* Ind. Crops Prod. 29 404–11.
- Disbun Sumsel. 2022. *Dinas Perkebunan (Disbun) Provinsi Sumatera Selatan catat jumlah produksi kelapa 61.724 ton*. disbun.sumselprov.go.id
- Dirjen Migas. 2008. *Keputusan Direktorat Jendral Minyak dan Gas Bumi No: 23204.K/10/DJMS/2008*.
- Farhani, A. N. 2014. *Kombinasi Teknik Top Down Dan Bottom Up Dalam Pembuatan Nanokristalin Hidroksiapatit Dari Batu Gamping*. Bogor: Departemen Fisika IPB
- H. Chen. 2014. *Biotechnology of Lignocellulose: Theory and Practice*. Springer Sci. Bus. Media.
- Hassan, A., Salema, A.A., Ani, F.N., Bakar, A.A. 2010. *A Review on Oil Palm Empty Fruit Bunch Fiber-Reinforced Polymer Composite Materials*. Polymer composites. DOI 10.1002/pc.
- Harahap. W. D. 2024. *Optimasi Proses Ozonolisis dengan Terkodop C dan Nuntuk Degradasi Diazinon*. Jurnal Kolaborasi Sains dan Ilmu Terapan Volume 2, Nomor 2, Juni 2024 | Page 43-45 | DOI :ISSN 2964- 5581.
- Herlina, N dan Harahap, I. S. 2018. *The Addition of Zeolite Adsorbents and Calcium Oxide on Purification of Bioethanol from Sugar Palm (Arenga pinnata Merr)*. IOP Conference Series: Earth dan Environmental Science, 130.

- Hermansyah., Cahyadi. H., Fatma., Miksusanti., Kasmiarti, G., and Panagan, A. T. 2021. *Delignification Of Lignocellulosic Biomass Sugarcane Bagasse By Using Ozone As Initial Step To Produce Bioethanol*. Pol. J. Environ. Stud. Vol. 30, No. 5 (2021), 4405-4411
- Huang, Z.; Zhang, J.; Pan, M.; Hao, Y.; Hu, R.; Xiao, W.; Li, G.; Lyu, T. 2022. *Valorisation of microalgae residues after lipid extraction: Pyrolysis characteristics for biofuel production*. Biochem. Eng. J. 2022, 179, 108330.
- Isroi. 2013. *Peningkatan Digestibilitas dan Perubahan Struktur Tandan Kosong Kelapa Sawit oleh Pleurotus floridanus dengan Penambahan Mn dan Cu*. Dissertation. Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Jambo, S.A.; Abdulla, R.; Azhar, S.H.M.; Marbawi, H.; Gansau, J.A.; Ravindra, P. 2016. *A review on third generation bioethanol feedstock*. Renew. Sustain. Energy Rev. 2016, 65, 756–769.
- Jannah, A.M., & Aziz, T. 2017. *Pemanfaatan Sabut Kelapa Menjadi Bioetanol dengan Proses Delignifikasi Acid-Pretreatment*. Jurnal Teknik Kimia, 23(4), 245–251.
- Jannah, A.M., Faizal, M., Novia., and Widjajanti, H. 2024. *The Effects of Ozonolysis on Oil Palm Fruit Mesocarp Delignification*. Journal of Ecological Engineering 2024, 25(7), 305–316.
- Juniati, F. dan Widjaja, A. 2022. *Produksi Gula Reduksi Dari Sabut Kelapa Melalui Pretreatment*. Jurnal Teknologi Kimia Mineral.
- Khaidir., Setyaningsih, D., dan Haerudin, H. 2012. *Dehidrasi Bioetanol Menggunakan Zeolit Alam Termodifikasi*. Jurnal Teknologi Industri Pertanian 22 (1):66-72 (2012).
- Kim, S.; Park, J.M.; Seo, J.; Kim, C.H. 2012. *Sequential acid-/alkali-pretreatment of empty palm fruit bunch fiber*. Bioresour. Technol. 2012, 109, 229–233.
- Latara, A., Botutihe, S., dan Mustofa. 2020. *Destilasi Bioetanol dari Nira Arendengan Variasi Waktu Pengadukan pada Proses Fermentasi*. Jurnal Teknologi Pertanian Gorontalo (JTPG), Vol. 5, No. 2.
- Li, G., Hu, R., Wang, N., Yang, T., Xu, F., Li, J., Wu, J., Huang, Z., Lyu, T. 2022. *Cultivation of microalgae in adjusted wastewater to enhance biofuel*

- production and reduce environmental impact: Pyrolysis performances and life cycle assessment.* J. Clean. Prod. 2022, 355, 131768.
- Li, G., Hao, Y., Yang, T., Xiao, W., Pan, M., Huo, S., Lyu, T. 2022. *Enhancing bioenergy production from the raw and defatted microalgal biomass using wastewater as the cultivation medium.* Bioengineering 2022, 9, 637.
- Lima, M.A., Gomez, L.D., Steele-King, C.G., Simister, R., Bernardinelli, O.D., Carvalho, M.A., Rezende, C.A., Labate, C.A., deAzevedo, E.R., McQueenMason, S.J., Polikarpov, I., 2014. *Evaluating the composition and processing potential of novel sources of Brazilian biomass for sustainable biorenewables production.* Biotechnol. Biofuels 7, 10.
- M' Arimi, M.M., Mecha, C.A., Kiprop, A.K., dan Ramkat, R. 2020. *Recent trends in applications of advanced oxidation processes (AOPs) in bioenergy production: Review.* Renewable and Sustainable Energy Review 121.
- Marlina, L. dan Hainun, W.N. 2020. *Pembuatan Bioetanol dari Air Kelapa Melalui Fermentasi dan Destilasi-Dehidrasi Dengan Zeolit.* TEDC Vol. 14No.3, September 2020.
- Martinez I.B., Guzman N., Pena E., Vazquez T., Camacho R.C., Folch J., Salazar J.A.H., Aburto J. 2016. *Ozonolysis of alkaline lignin and sugarcane bagasse: Structural changes and their effect on saccharification.* Biomass and Bioenergy, 94, 167, 2016.
- Megawati, 2016. *The Influence of White and Blue Silica Gels as Adsorbents in Adsorptive-Distillation of Ethanol-Water Mixture.* International Conference on Engineering, Science and Nanotechnology 2016 (ICESNANO 2016) AIP Conf. Proc. 1788, 030114-1–030114-6; doi: 10.1063/1.4968367.
- Mosier N, Wyman C, Dale B, Elander R, Lee YY, Holtzapple M, Ladisch M. 2005. *Features of promising technologies for pretreatment of lignocellulosic biomass.* Bioresour Technol 96: 673-686.
- Muhaji and Sutjahjo, D., H. 2018. *The characteristics of bioethanol fuel made of vegetable raw materials.* The Consortium of Asia-Pacific Education Universities (CAPEU). IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 296 (2018) 012019.

- Mulyadi, I. 2019. *Isolasi dan karakterisasi selulosa*. Jurnal Saintika Unpam: Jurnal Sains Dan Matematika Unpam. Vol. 1(2): 177-182.
- Nascimento, S.A., Rezende, C.A., 2018. *Combined approaches to obtain cellulose nanocrystals, nanofibrils and fermentable sugars from elephant grass*. Carbohydr. Polym. 180, 38e45.
- Novitasari, D. dan Kusumaningrum, D. 2012. *Pemurnian Bioetanol dengan Proses Adsorpsi dan Distilasi Adsorpsi dengan Adsorben Zeolit*. Jurnal Teknologi Kimia dan Industri, Vol. 1, No. 1, Hal 534-539.
- Nurhayati, I., Umara, D.R., Sari, N.Z., Fadelfi, N.A., Sa'idah, A.I., Nugraheni, A.L., dan Nailissyifa, U. 2024. *Optimasi Proses Distilasi Multikomponen untuk Pemisahan Alkohol Berupa Etanol dan Air*. Jurnal Majemuk Vol. 3 No. 2 (Juni 2024) Hal. 206-218.
- Oktaviani, S., Chairul., dan Yenti, S., R. 2017. *Pemurnian Bioetanol Hasil Fermentasi Nira Nipah Menggunakan Proses Destilasi adsorpsi Menggunakan Adsorben Silica Gel*. Universitas Riau.
- Paluti, C. 2022. *Ozonolysis Definition, Mechanism & Reactions*. General Science Lessons.
- Perrone, O. M., Moretti, M.M.D.S., Bordignon, S.E., Pereira, J.D.S., Silva, R.D., Gomes, E. dan Boscolo, M. 2021. *Improving cellulosic ethanol production using ozonolysis and acid as a sugarcane biomass pretreatment in mild conditions*. Bioresource Technology Reports 13 (2021) 100628.
- Prasnady, Anjar. 2018. *Rasio Ukuran Partikel dan Temperatur Pemanasan Batu Kapur untuk Meningkatkan Kadar Bioethanol dari Tetes Tebu*. Surabaya. Universitas Negeri Surabaya.
- Produk Silika Gel. 2024. <https://imcosilica.com/>
- Rahardja, I. B., Hasibuan, C. E., Dermawan, Y., 2022. *Analisis briket fiber mesocarp kelapa sawit metode karbonisasi dengan perekat tepung tapioka*. SINTEK JURNAL, Vol. 16 No. 2, Desember 2022. DOI: 10.24853/sintek.16.2.82-91.
- Rahmasita, M.E., Farid, M., dan Ardhyanta, H. 2017. *Analisa Morfologi Serat Tandan Kosong Kelapa Sawit Sebagai Bahan Penguat Komposit Absorpsi Suara*. JURNAL TEKNIK ITS Vol. 6, No. 2 (2017), 2337-3520.

- Ravichandran S and R V. 2012. *Solid state and submerged fermentation for the production of bioactive substances: a comparative study* Int. J. Sci. Nat. 3 480–6.
- Sari, D. P. dan Tjahjani, Siti. 2018. *Pemanfaatan Kulit Durian (*Durio zibethinus*) Sebagai Bahan Baku Pembuatan Bioetanol Menggunakan *Aspergillus niger* dan *Saccharomyces cerevisiae**. Prosiding Seminar Nasional Kimia. Surabaya. 22 September 2018.
- Setiawan, A., Fatoni, A., dan Ramadani, T. A. 2022. *Pemurnian Bioetanol Menggunakan Adsorben Silika Gel Dari Limbah Botol Kaca Di Industri Kecap*. Jurnal Pengendalian Pencemaran Lingkungan. Vol.4 No.2.
- Siano, D., Mary Jane P. Caberto¹, Ronald E. Garcia¹, Jonathan E. Lacayanga. 2021.
- Shukla, A., Kumar, D., Girdhar¹, M., Kumar, A., Goyal, A., Malik, T., dan Mohan, A. 2023. *Strategies of pretreatment of feedstocks for optimized bioethanol production: distinct and integrated approaches*. Biotechnology for Biofuels and Bioproducts 16:44.
- Silva, C.E.F., Cabral, M.M.S., Abud, A.K.S., Almeida, R., 2016. Bioethanol production from coconut husk fiber. *Ciência Rural*. 46 (10).
- Siswanto, A.P., Yulianto, M.E, Handayani, D., Sapatra, E.F., Yuniarti, I., dan Imamsyah, R.A.S. 2020. *Morphology characterization of lignocellulosic materials in ozone based degradation*. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 845 (2020) 012048.
- Sivabalan Kaniapan 1,* , Suhaimi Hassan 1 , Hamdan Ya 1 , Kartikeyan Patma Nesan 2 and Mohammad Azeem. 2021. *The Utilisation of Palm Oil and Oil Palm Residues and the Related Challenges as a Sustainable Alternative in Biofuel, Bioenergy, and Transportation Sector: A Review*. Sustainability 2021, 13, 3110.
- Smullen, E.; Finnan, J.; Dowling, D.; Mulcahy, P. 2019. *The Environmental Performance of Pretreatment Technologies for the Bioconversion of Lignocellulosic Biomass to Ethanol*. Renew. Energy 2019, 142, 527–534.
- Solihah, F., Tjahjani, S., dan Amaria. 2020. *Upaya Peningkatan Kemurnian Bioetanol Pati Singkong karet dengan Adsorpsi*. UNESA Journal Chemistry, Vol 9. No.1.

- Soraya, P. I., Novia, dan Hermansyah. 2012. *Produksi Glukosa Dari Tandan Kosong Kelapa Sawit Yang Didelignifikasi Dengan Ozonolysis PreTreatment Melalui Metode Hidrolisis Enzimatik*. Seminar Nasional AVoER ke-4.
- Susilo, B., Sumarlan, S.H., dan Nurirenia, D.F. 2017. *Pemurnian Bioetanol Menggunakan Proses Distilasi Dan Adsorpsi Dengan Penambahan Asam Sulfat (H₂so₄) Pada Aktivasi Zeolit Alam Sebagai Adsorben*. Jurnal Keteknikan Pertanian Tropis dan Biosistem Vol. 5No. 1, Februari2017, 19-26.
- Tira, H., Mara, I., Zulfitri, Z. dan Mirmanto, M. 2018. *Uji sifat fisik dan kimia bioetanol dari jagung (Zea mays L)*. Dinamika Teknik Mesin, vol. 8, no. 2, 77-82.
- Travaini R, Martin-Juarez J, Lorenzohernando A., Bolado-Rodriguez S. *Ozonolysis: An advantageous pretreatment for lignocellulosic biomass revisited*. Bioresource Technology, 199, 2, 2015.
- Tripathi S.K., Bhardwaj N.K., Ghatak H.R. *Determination of main parameters affecting Ozone bleaching of wheat straw pulp using plackett – burman design determination of Mmain parameters affecting ozone bleaching of wheat straw*. Ozone Science English, 40 (2), 1, 2017.
- Utama, D.D., Djali, M., Cahyana, Y., dan Ajjjah, M. S. 2024. *Perbandingan efektifitas pretreatment ozonolisis dan hydrothermal pressure dalam meningkatkan kandungan tanin dan kafein ekstrak kulit biji kakao (Theobroma cacao L.)*. Jurnal Ilmu Pertanian. Vol. 6No. 1Februari 2024, Hlm: 45-54.
- Vassilev, S. V., D. Baxter, L. K. Andersen, C. G. Vassileva, and T. J. Morgan, “*An overview of the organic and inorganic phase composition of biomass,*” Fuel, vol. 94, pp. 1–33, 2012.
- Villarul, T. N., Chairul dan Yenti, S. R. 2017. *Pemurnian Bioetanol Hasil Fermentasi Nirah Nipah Menggunakan Proses Destilasi Adsorpsi Menggunakan Adsorben CaO*. Jom FTEKNIK, vol. 4, no. 2.
- Wardani, N.B., Susanti, M., Maryanty, Y., Widiarto, E. 2021. *Hidrolisis Raw Sugar Sebagai Bahan Baku Pembuatan Mono Natrium Glutamat Dengan*

Variasi Ph, Suhu, Dan Konsentrasi. Distilat Jurnal Teknologi Separasi, Vol. 7, No. 1, Februari 2021.

Waste, M. O. B. S. 2020. *Pengaruh Konsentrasi Asam Formiat Dan Waktu Reaksi Pada Proses Delignifikasi Metode Organosolv Dari Limbah Batang Pisang (Musa Parasidiaca) The Influence Of Formic Acid Concentration And Reaction Time On Delignification Organosolv*. Jurnal Kelitbangan. Vol. 8(2): 147-160.

Zuliansah W and Abduh M. 2018 *Pengaruh Lama Waktu Kultivasi Aspergillus niger dengan Metode Solid State Fermentation (SSF) Terhadap Kandungan Total Flavonoid dari Daun Lemon (Citrus limon. L)*