

**PENGARUH PROSES PEMUTIHAN TERHADAP PRODUKSI
BIOETANOL BERBASIS BIOMASSA TANDAN KOSONG KELAPA
SAWIT MENGGUNAKAN METODE HIDROLISIS DAN FERMENTASI
TERPISAH**

SKRIPSI

**Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Memproleh Gelar Sarjana
Bidang Studi Kimia di Jurusan Kimia Fakultas MIPA**



Oleh:

EJA TRIO AJI

08031282025021

**JURUSAN KIMIA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS SRIWIJAYA**

2024

HALAMAN PENGESAHAN
PENGARUH PROSES PEMUTIHAN TERHADAP PRODUKSI
BIOETANOL BERBASIS BIOMASSA TANDAN KOSONG KELAPA
SAWIT MENGGUNAKAN METODE HIDROLISIS DAN FERMENTASI
TERPISAH

SKRIPSI

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh
Gelar Sarjana Sains Bidang Studi Kimia

Oleh:

EJA TRIO AJI

08031282025021

Indralaya, 25 Maret 2024

Mengetahui,

Pembimbing I



Prof. Dr. Hasanudin, M.Si.

NIP.197205151997021003

Pembimbing II



Roni Maryana, Ph.D.

NIP. 1979110720060410003



Prof. Hermansyah, S.Si., M.Si., Ph.D.

NIP.197111191997021001

HALAMAN PERSETUJUAN

Karya tulis ilmiah berupa skripsi Eja Trio Aji (08031282025021) dengan judul "Pengaruh Proses Pemutihan Terhadap Produksi Bioetanol Berbasis Biomassa Tandan Kosong Kelapa Sawit Menggunakan Metode Hidrolisis dan Fermentasi Terpisah" telah disidangkan di hadapan Tim Penguji Sidang Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Sriwijaya pada tanggal 25 Maret 2024 dan telah diperbaiki, diperiksa, serta disetujui sesuai masukan yang telah diberikan.

Indralaya, 25 Maret 2024

Ketua:

1. **Dr. Nurlisa Hidayati, M.Si.**

NIP. 197211092000032001

()

Sekretaris:

2. **Dr. Desnelli, M. Si.**

NIP. 196912251997022001

()

Pembimbing:

1. **Prof. Dr. Hasanudin, M.Si.**

NIP.197205151997021003

()

2. **Roni Maryana, Ph.D.**

NIP. 1979110720060410003

()

Penguji:

1. **Fahma Riyanti, M.Si.**

NIP.197202052000032001


()

2. **Dra. Fatma, M.S.**

NIP. 196207131991022001

()

Mengetahui,


Dekan FMIPA
Prof. Meryangyah, S.Si., M.Si., Ph.D.
NIP. 197111191997021001


Ketua Jurusan Kimia
Prof. Dr. Muharni, M.Si.
NIP. 196903041994122001

PERNYATAAN KEASLIAN KARYA TULIS

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama Mahasiswa : Eja Trio Aji

NIM : 08031282025021

Fakultas/Jurusan : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam/Kimia

Menyatakan bahwa skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri dan karya ilmiah ini belum pernah diajukan sebagai pemenuhan persyaratan untuk memperoleh gelar kesarjanaan strata (S1) dari Universitas Sriwijaya maupun perguruan tinggi lain. Semua informasi yang dimuat dalam skripsi ini berasal dari penulis lain baik yang dipublikasikan atau tidak telah diberikan penghargaan dengan mengutip nama sumber penulis secara benar. Semua isi dari skripsi ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab saya sebagai penulis.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Indralaya, 25 Maret 2024



Penulis

Eja Trio Aji

NIM. 08031282025021

**HALAMAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH UNTUK
KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai civitas akademik Universitas Sriwijaya, yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama Mahasiswa : Eja Trio Aji

NIM : 08031282025021

Fakultas/Jurusan : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam/Kimia

Jenis Karya : Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, saya menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Sriwijaya “hak bebas royalti non-eksklusif (*non-exclusively royalty-free right*) atas karya ilmiah saya yang berjudul : “Pengaruh Proses Pemutihan Terhadap Produksi Bioetanol Berbasis Biomassa Tandan Kosong Kelapa Sawit Menggunakan Metode Hidrolisis dan Fermentasi Terpisah”. Dengan hak bebas royalti non eksklusif ini Universitas Sriwijaya berhak menyimpan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat dan mempublikasikan tugas akhir atau skripsi saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik hak cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya.

Indralaya, 25 Maret 2024

Yang Menyatakan



Eja Trio Aji

NIM. 08031282025021

LEMBAR PERSEMBAHAN

Bismillahirrahmaanirrahiimm

“Maka sesungguhnya bersama kesulitan itu ada kemudahan”

(QS. Al-Insyirah: 5).

“Maka nikmat Tuhanmu yang manakah yang kamu dustakan”

(QS. Ar-Rahman)

Skripsi ini sebagai tanda syukurku kepada:

1. Allah SWT
2. Nabi Muhammad SAW

Dan kupersembahkan kepada:

1. Ibu, ayah, kakak, dan adikku tercinta yang dengan setulus hati selalu mendoakan dan memberikan semangat serta dukungan sehingga saya mampu menyelesaikan Program S1 Kimia.
2. Keluarga besar yang telah mensupport dan mendoakanku.
3. Pembimbing tugas akhir penelitian dan skripsi Bapak Prof. Dr. Hasanudin, M.Si. dan Bapak Roni Maryana, Ph.D.
3. Seluruh Civitas Akademika Kimia Universitas Sriwijaya.
4. Rekan-rekan seperjuangan Jurusan Kimia FMIPA Universitas Sriwijaya.
5. Almamater Universitas Sriwijaya.

KATA PENGANTAR

Segala puji syukur hanyalah milik Allah SWT yang memberikan hidayah, iman, islam, kesehatan, dan pertolongan kepada hambanya dalam setiap aktivitas yang dilakukan. Sholawat beserta salam selalu kita kirimkan kepada Nabi Muhammad SAW yang telah membuat kita mengenal nikmat islam dan ilmu pengetahuan seperti saat ini. Atas dasar inilah akhirnya penulis dapat menyelesaikan penelitian dan penulisan skripsi yang berjudul “Pengaruh Proses Pemutihan Terhadap Produksi Bioetanol Berbasis Biomassa Tandan Kosong Kelapa Sawit Menggunakan Metode Hidrolisis dan Fermentasi Terpisah”. Skripsi ini dibuat sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana sains bidang kimia pada Fakultas Matematika dan Ilmu Pengeahuan Alam Universitas Sriwijaya.

Proses penyusunan skripsi ini tidak terlepas dari berbagai rintangan, mulai dari studi literatur, penelitian, pengumpulan dan pengolahan data serta pada proses penulisan. Namun dengan kesabaran dan ketekunan yang dilandasi dengan rasa tanggung jawab selaku mahasiswa dan juga bantuan dari berbagai pihak, baik material dan motivasi, akhirnya selesai sudah penulisan skripsi ini. Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Bapak **Prof. Dr. Hasanudin, M.Si.** dan Bapak **Roni Maryana, Ph.D.** yang telah banyak meluangkan waktu, tempat dan energi serta memberikan bimbingan, motivasi, saran dan petunjuk kepada penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.

Penulis juga menyampaikan terimakasih kepada :

1. Allah SWT yang telah memberikan segala nikmat, rahmat, hidayah serta kemudahan. Rasa puji dan syukur yang begitu besar penulis panjatkan kepada-Nya. Serta sholawat beserta salam kepada baginda Rasullullah SAW yang diharapkan syafaatnya hingga akhir zaman.
2. Bapak Prof. Hermansyah, M.Si., Ph.D selaku Dekan FMIPA Universitas Sriwijaya dan Ibu Prof. Dr. Muharni, M.Si selaku Ketua Jurusan Kimia FMIPA Universitas Sriwijaya.
3. Bapak Prof. Dr. Hasanudin, M.Si. dan Bapak Roni Maryana, Ph.D. selaku Pembimbing Tugas Akhir saya. Terima kasih telah banyak membantu

penulis dalam penelitian dan penulisan skripsi dengan sabar dan terima kasih atas semua bimbingan yang telah Bapak berikan selama ini.

4. Ibu Dra. Fatma, M.S. selaku Dosen Pembimbing Akademik saya. Terima kasih atas segala bimbingan, arahan dan nasehat yang selalu Ibu berikan kepada saya selama perkuliahan.
5. Ibu Dr. Nurlisa Hidayati, M.Si, Ibu Dr. Desnelli, M.Si, Ibu Fahma Riyanti, M.Si dan Ibu Dra. Fatma, M.S. selaku Tim Penguji Seminar Hasil dan Sidang Sarjana yang turut andil memberikan masukan, kritik, dan saran yang membangun dalam penulisan skripsi serta persiapan menuju sarjana kimia.
6. Seluruh Dosen Kimia FMIPA Universitas Sriwijaya yang telah memberikan ilmu, mendidik dan membimbing selama perkuliahan.
7. Ibu (Nurhayati) dan Papa (Armantoto) yang selalu mendukung, mendoakan, dan tak kenal lelah melakukan apapun demi kelancaran dan kesuksesan sepanjang hidup penulis, terima kasih tak terhingga penulis ucapkan.
8. Untuk Kakakku Brother Doni Pranata Dewantara dan Arif Budiman terima kasih selalu membantu penulis dalam memberikan support dan dukungan yang besar kepada penulis.
9. Keluarga besar Abdurrahman Zein yang selalu memberikan dukungan, doa dan harapan kepada penulis, terimakasih banyak untuk apapun itu.
10. Catalyst Squad yang selalu bersama dalam keadaan susah dan senang terima kasih atas pengalaman dan kebersamaannya.
11. Koica geng (Mas Ikin, Mba Ina, Icha, dan Kak sabrina) yang selalu memberikan penulis support selama penelitian di BRIN.
12. Warung emak (Alif, Kodrat, Dimas, Almer, Adi, Rizki, Bang Fer, Angga, Bang Rizki, Husnil, Nadhif, Alhadyu, Kevin) yang selalu memberikan keceriaan selama dan kebersamaan selama proses perkuliahan.
13. Tim NIM 021, Kak Afif Alfarizi, Kak Rafi Perdana, Mira Yuliarti, dan M. Zaki yang selalu membantu perkuliahan penulis selalu mensupport dan sebisa mungkin membantu penulis untuk bertahan di jurusan kimia.

14. Staf TU Jurusan Kimia Mbak Novi dan Kak Chosi'in yang membantu dalam menyelesaikan administrasi selama perkuliahan, penjadwalan serta pemberkasan.
15. Kepada Pemilik NIM 080, Dwi Rahmah Yuniar. Terima Kasih untuk apapun yang telah dan akan dilewati bersama penulis disaat senang, sedih, jatuh, dan tetap bertahan memberikan support. Kedepannya akan banyak ujian lebih dari apa sekarang. Terimakasih telah menjadi best support system. Mari hadapi apapun yang terjadi, kita kuat
16. Terakhir saya ucapkan terima kasih kepada diri sendiri yang tetap bertahan di masa-masa sulit, yang selalu mencoba untuk bangkit dari keterpurukan meski sudah jatuh berkali-kali.
17. Dan terimakasih kepada siapapun telah mengukir cerita dalam hidup dan memberi pembelajaran hidup yang berarti dan membuatku lebih dewasa seiring waktu.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih banyak kekurangan dan kesalahan, sehingga penulis sangat mengharapkan kritik dan saran dari pembaca. Akhir kata penulis mengucapkan terima kasih.

Indralaya, 25 Maret 2024

Penulis



Eja Trio Aji

SUMMARY

EFFECT OF BLEACHING PROCESS ON BIOETHANOL PRODUCTION BASED ON OIL PALM EMPTY FRUIT BUNCH BIOMASS USING SEPARATE HYDROLYSIS AND FERMENTATION METHOD

Eja Trio Aji: Supervised by Prof. Dr. Hasanudin, M.Si., and Roni Maryana, Ph.D.

Department of Chemistry, Faculty of Mathematics and Natural Sciences,
Sriwijaya University.

xvi + 75 Pages, 15 Figures, 5 Tables, 10 Appendices.

Indonesia as the world's largest palm oil producer produces large amounts of waste during the palm oil processing process, one of which is oil palm empty fruit bunches (OPEFB). OPEFB can be utilised as biofuel, namely bioethanol. The processing of OPEFB into bioethanol is done through several stages, namely pretreatment, saccharification and fermentation; distillation and dehydration. The OPEFB-based bioethanol production process still faces challenges, namely the presence of lignin that envelops cellulose so that it becomes a barrier for enzymes to access cellulose and results in the rate of hydrolysis process being hampered. Therefore, in this study, the bleaching process using NaClO_2 and H_2O_2 is used as a strategy to degrade lignin and purify cellulose, so that it becomes a solution in overcoming problems and increasing bioethanol production from OPEFB. This study aims to produce bioethanol from OPEFB using bleaching process after pretreatment and RSM optimisation in saccharification process using Cellic® Ctec2 and Cellic® Htec2 enzymes. Bioethanol production begins with pretreatment of OPEFB using NaOH followed by bleaching process. Next, enzymatic saccharification was carried out with three parameters: enzyme concentration, solid loading and temperature. Fermentation was carried out using *Saccharomyces Cerevisiae* to produce ethanol followed by distillation. The results showed that the use of bleaching process can increase the content of cellulose and hemicellulose in OPEFB and reduce the content of lignin. The optimum condition achieved in the saccharification process using RSM analysis is at an enzyme concentration of 30 FPU, solid loading 20% and temperature 50°C. The use of the bleaching process was able to increase the yield of reducing sugars in the saccharification process, but the resulting bioethanol conversion was much lower when compared to the use of pretreatment alone.

Keywords : Oil Palm Empty Fruit Bunches, Bioethanol, Bleaching, Response Surface Method.

Citation : 74 (2000-2023)

RINGKASAN

PENGARUH PROSES PEMUTIHAN TERHADAP PRODUKSI BIOETANOL BERBASIS BIOMASSA TANDAN KOSONG KELAPA SAWIT MENGGUNAKAN METODE HIDROLISIS DAN FERMENTASI TERPISAH

Eja Trio Aji: Dibimbing oleh Prof. Dr. Hasanudin, M.Si., dan Roni Maryana, Ph.D.

Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Sriwijaya.

xvi + 75 Halaman, 15 Gambar, 5 Tabel, 10 Lampiran

Indonesia sebagai produsen minyak sawit terbesar di dunia menghasilkan limbah dalam jumlah besar selama proses pengolahan kelapa sawit, salah satunya adalah tandan kosong kelapa sawit (TKKS). TKKS dapat dimanfaatkan menjadi bahan bakar nabati yaitu bioetanol. Pengolahan TKKS menjadi bioetanol dilakukan melalui beberapa tahap yaitu *pretreatment*, sakarifikasi dan fermentasi; distilasi dan dehidrasi. Proses produksi bioetanol berbasis TKKS masih mengalami tantangan, yaitu adanya lignin yang menyelimuti selulosa sehingga menjadi penghalang enzim untuk mengakses selulosa dan berakibat pada laju proses hidrolisis yang menjadi terhambat. Oleh karena itu, pada penelitian ini digunakan proses pemutihan menggunakan NaClO_2 dan H_2O_2 sebagai strategi untuk mendegradasi lignin dan memurnikan selulosa, sehingga menjadi solusi dalam mengatasi masalah dan meningkatkan produksi bioetanol dari TKKS. Penelitian ini bertujuan untuk memproduksi bioetanol dari TKKS menggunakan proses pemutihan setelah *pretreatment* dan optimasi RSM pada proses sakarifikasi menggunakan enzim Cellic® Ctec2 and Cellic® Htec2. Produksi bioetanol diawali dengan *pretreatment* TKKS menggunakan NaOH yang dilanjutkan dengan proses pemutihan. Selanjutnya, dilakukan sakarifikasi enzimatik dengan tiga parameter yaitu konsentrasi enzim, *solid loading* dan temperatur. Fermentasi dilakukan dengan menggunakan *Saccharomyces Cerevisiae* untuk menghasilkan etanol yang dilanjutkan dengan distilasi. Hasil penelitian menunjukkan penggunaan proses pemutihan dapat meningkatkan kadar selulosa dan hemiselulosa pada TKKS serta menurunkan kandungan dari lignin. Kondisi optimum yang dicapai pada proses sakarifikasi dengan menggunakan analisis RSM yaitu pada konsentrasi enzim 30 FPU, *solid loading* 20% dan temperatur 50°C . Penggunaan proses pemutihan mampu meningkatkan hasil gula pereduksi pada proses sakarifikasi, tetapi hasil konversi bioetanol yang dihasilkan jauh lebih rendah jika dibandingkan dengan penggunaan *pretreatment* saja.

Kata Kunci : Tandan Kosong Kelapa Sawit, Bioetanol, Pemutihan, *Response Surface Method*.

Sitasi : 74 (2000-2023)

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
HALAMAN PERSETUJUAN	iii
PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH.....	iv
HALAMAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS	v
HALAMAN PERSEMBAHAN	vi
KATA PENGANTAR.....	vii
SUMMARY	x
RINGKASAN	xi
DAFTAR ISI.....	xii
DAFTAR GAMBAR.....	xiv
DAFTAR TABEL	xv
DAFTAR LAMPIRAN	xvi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	4
1.3. Tujuan Penelitian	4
1.4. Manfaat Penelitian	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1. Tandan Kosong Kelapa Sawit.....	6
2.2. Bioetanol	7
2.3. Lignin.....	9
2.4. Selulosa.....	10
2.5. Hemiselulosa.....	11
2.6. <i>Pretreatment</i> Alkali	12
2.7. Pemutihan	15
2.9. Sakarifikasi Enzimatik	16
2.10. Fermentasi	18
2.11. Destilasi.....	20
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	22

3.1. Waktu dan Tempat	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. Preparasi Sampel TKKS	22
3.3.2. <i>Pretreatment</i> Alkali <i>Pilot Scale</i>	23
3.3.3. Proses Pemutihan (<i>Bleaching</i>)	23
3.3.4. Analisis Komponen.....	23
a. Penentuan Kadar Abu.....	23
b. Penentuan Kadar Selulosa dan Hemiselulosa	23
c. Penentuan Kadar Lignin.....	25
3.3.5. Penentuan Kristalinitas dengan <i>X-Ray Diffraction</i>	25
3.3.6. Sakarifikasi/Hidrolisis Enzimatik	26
3.3.7. Fermentasi	27
3.3.8. Destilasi <i>Lab-Scale</i> dan pengukuran Kadar Alkohol .	27
3.3.9. Karakterisasi Etanol Menggunakan <i>Gas</i> <i>Chromatography Flame Ionization Detection</i>	27
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	29
4.1. Pengaruh Proses Pemutihan terhadap Kadar Selulosa, Hemiselulosa, dan Lignin.....	29
4.2. Indeks Kristalinitas Selulosa Setelah <i>Pretreatment</i> dan Pemutihan.....	30
4.3. Optimasi RSM Sakarifikasi Enzimatik	32
4.4. Pengaruh Proses Pemutihan Terhadap Produksi Gula Pereduksi	36
4.5. Pengaruh Proses Pemutihan Terhadap Produksi Bioetanol ..	38
4.6. Neraca Massa Produksi Bioetanol	41
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	43
5.1. Kesimpulan	43
5.2. Saran	43
DAFTAR PUSTAKA	44

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 1. Tandan Kosong Kelapa Sawit	6
Gambar 2. Struktur lignin dengan tiga monomer berupa alkohol sinapil, alkohol koniferil, dan alkohol p-koumaril	9
Gambar 3. Struktur molekul selulosa	11
Gambar 4. Struktur hemiselulosa	12
Gambar 5. Skema proses <i>pretreatment</i> biomassa lignoselulosa	13
Gambar 6. Mekanisme reaksi proses <i>pretreatment</i> menggunakan NaOH..	14
Gambar 7. Skema SHF dan SSF	20
Gambar 8. Difraktogram XRD	31
Gambar 9. Plot 3D dan Contour Plot permukaan respon antara <i>solid loading</i> dan temperatur	35
Gambar 10. Plot 3D dan Contour Plot permukaan respon antara <i>solid loading</i> dan konsentrasi enzim	35
Gambar 11. Hasil analisis kadar gula pereduksi pada proses sakarifikasi..	36
Gambar 12. Mekanisme penguraian selulosa menjadi glukosa	38
Gambar 13. Kadar bioetanol yang dihasilkan dari proses fermentasi	39
Gambar 14. Kromatogram GC-FID standar dan sampel bioetanol.....	40
Gambar 15. Neraca massa produksi bioetanol.....	41

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 1. Desain eksperimental optimasi CCD-RSM sakarifikasi.....	26
Tabel 2. Komposisi kimia TKKS.....	29
Tabel 3. Hasil kadar gula pada proses optimasi sakarifikasi	32
Tabel 4. Estimasi koefisien regresi untuk gula pereduksi.....	33
Tabel 5. <i>Analysis of varians reducing</i> gula pereduksi	34

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran 1. Rancangan penelitian <i>flowchart</i>	49
Lampiran 2. Perhitungan analisis komponen	57
Lampiran 3. Perhitungan indeks kristalinitas	67
Lampiran 4. Perhitungan pembuatan larutan asam sulfat	68
Lampiran 5. Perhitungan pembuatan larutan NaOH 10%	69
Lampiran 6. Hasil analisis kadar gula	69
Lampiran 7. Hasil analisa HPLC	70
Lampiran 8. Hasil analisa XRD	72
Lampiran 9. Hasil analisa GC-FID	74
Lampiran 10. Dokumentasi penelitian	75

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Industri kelapa sawit di Indonesia merupakan yang terbesar di dunia. Menurut data badan pusat statistik, sebagian besar industri kelapa sawit tersebar di daerah Sumatera dan Kalimantan dengan luas perkebunan sekitar 14,62 juta hektar dan produksi minyak kelapa sawit mencapai angka 45,1 juta ton pada tahun 2021 (Statistik Kelapa Sawit Indonesia, 2021). Produk yang dihasilkan industri kelapa sawit berasal dari buah kelapa sawit yang diolah menjadi produk utama yaitu minyak kelapa sawit. Selain menghasilkan produk utama dalam pengolahan kelapa sawit, industri kelapa sawit juga menghasilkan bahan sisa pengolahan yang berupa limbah kelapa sawit. Limbah yang dihasilkan berupa limbah padat, gas dan cair (Susanto et al., 2017). Pada industri pengolahan kelapa sawit setiap 1 ton tandan buah segar yang diolah akan menghasilkan sisa pengolahan berupa limbah cair sebanyak 50%, limbah cangkang (*Shell*) 6,5% (65 kg), lumpur sawit (*wet decanter solid*) 4% (40 kg), serabut (*Fiber*) 13% (130 kg), dan tandan kosong kelapa sawit (TKKS) sebanyak 23% (230 kg) (Wibowo et al., 2019).

Besarnya limbah padat TKKS yang dihasilkan industri dapat menimbulkan dampak serius bagi kesehatan dan lingkungan apabila tidak dilakukan pengelolaan limbah dengan baik. Limbah TKKS yang tertimbun dan tidak dilakukan pengelolaan akan mengalami proses penguraian secara anaerobik. Penguraian TKKS akan menghasilkan beberapa gas seperti metana, hidrogen sulfida, ammonia, dan nitrogen oksida. Beberapa dari gas tersebut memiliki sifat toksik yang dapat membahayakan kesehatan dan merusak lingkungan serta memiliki efek gas rumah kaca yang dapat menyebabkan terjadinya pemanasan global (Kardono, 2008). Untuk mengurangi dampak dari penumpukan limbah TKKS sebagian industri membakar TKKS dalam *incinerator* sebagai upaya mengurangi volume penumpukan di sekitar kawasan industri, walaupun cara ini sudah dilarang oleh pemerintah. Selain itu, ada juga yang mengirimkan kembali timbunan limbah TKKS ke area perkebunan untuk dijadikan mulsa dan pupuk alami bagi pohon kelapa sawit (Falah & Nelza, 2019).

Menurut Putri et al. (2022), Pembakaran limbah TKKS dalam *incenerator* menyebabkan dampak negatif terhadap lingkungan karena menghasilkan emisi gas rumah kaca dan polusi udara, sehingga diperlukan teknologi terbaru yang dapat menjadikan TKKS sebagai bahan bakar yang ramah terhadap lingkungan dan mendapatkan nilai tambah yang tinggi dari pemanfaatannya. Salah satunya menjadikan TKKS sebagai sumber energi terbarukan yaitu *biofuel* seperti biogas, biodiesel dan bioetanol. Bioetanol merupakan bahan bakar yang ramah lingkungan dan dapat dihasilkan dari biomassa. Dibandingkan dengan *biofuel* lainnya bioetanol merupakan bahan bakar yang lebih menjanjikan karena dapat menggunakan bahan baku dari limbah TKKS, proses produksinya yang lebih ramah lingkungan, menghasilkan energi dengan nilai oktan tinggi serta dapat digunakan dalam berbagai industri. Selain itu, bioetanol berbasis TKKS sebagai alternatif bahan bakar terbarukan memiliki potensi untuk mendukung program transisi energi hijau yang dicanangkan oleh pemerintah Indonesia. Melalui penggunaan campuran bioetanol dalam *Pertamax Green 95*, sebuah bahan bakar ramah lingkungan, diharapkan dapat mengurangi impor minyak, menekan emisi gas rumah kaca dan menanggulangi dampak yang dihasilkan dari pencemaran limbah TKKS.

TKKS mengandung komponen kimia berupa 45,95% selulosa, 22,84% hemiselulosa, 16,49% lignin, minyak 2,41% dan abu 1,23% (Trisakti & Sijabat, 2020). Kandungan selulosa di dalam TKKS yang tinggi menjadi potensi besar untuk dimanfaatkan sebagai bahan baku dalam pembuatan bioetanol. Penggunaan bioetanol sebagai bahan bakar akan meningkatkan efisiensi dari pembakaran karena memiliki nilai oktan yang lebih tinggi (106-110) daripada bensin (91-96) serta mengurangi emisi gas polutan seperti sulfur dan nitrogen oksida karena mengandung kadar oksigen yang lebih tinggi dan sulfur yang rendah (Sudiyani et al, 2019). Tidak hanya berfungsi sebagai energi terbarukan, bioetanol yang diyakini sebagai bioenergi yang paling prospektif, juga dapat menjadi solusi untuk masalah polusi udara (Maryana et al., 2014).

Proses produksi bioetanol dari TKKS secara garis besar dikelompokkan menjadi 3 tahapan, yaitu *pretreatment*, sakarifikasi dan fermentasi, dan pemurnian. *Pretreatment* TKKS umumnya menggunakan *pretreatment* alkali (Maryana, 2022). Proses ini bertujuan untuk mengurangi kadar lignin dalam

lignoselulosa dan meningkatkan kadar selulosa. Selama proses *pretreatment* berlangsung reaksi saponifikasi terjadi yang berakibat pada pemutusan ikatan ester antar molekul sehingga terjadi pelarutan fragmen lignin dalam larutan alkali (Behera et al., 2014). Setelah melawati tahap *pretreatment*, TKKS kemudian memasuki tahap kedua yaitu sakarifikasi dan fermentasi. Proses ini terbagi menjadi dua metode: sakarifikasi dan fermentasi terpisah (SHF) dan sakarifikasi dan fermentasi simultan (SSF). Sakarifikasi dan fermentasi terpisah memiliki keuntungan karena memungkinkan optimisasi masing-masing parameter proses dari dua langkah tersebut secara terpisah sehingga mampu menghasilkan produk yang optimal (Galbe et al., 2011). Pada proses sakarifikasi dan fermentasi terpisah selulosa akan diubah menjadi glukosa dengan bantuan enzim kemudian glukosa yang dihasilkan akan difermentasi menggunakan *Saccharomyces cerevisiae* sehingga menghasilkan etanol. Etanol yang dihasilkan kemudian dimurnikan dengan cara didestilasi dan dehidrasi untuk meningkatkan kemurniannya (Muryanto et al., 2016).

Produksi bioetanol berbasis biomassa lignoselulosa masih mengalami beberapa tantangan. Salah satu kendala utama yang dihadapi dalam proses ini adalah adanya lignin yang menyelimuti selulosa sehingga menjadi penghalang selulase untuk mengakses selulosa dan berakibat pada laju proses hidrolisis yang menjadi terhambat (Sudiyani et al., 2010). Menurut penelitian yang dilakukan oleh Septevani et al., (2018), proses pemutihan atau *bleaching* terhadap TKKS menggunakan NaClO_2 dapat digunakan untuk memurnikan selulosa. Hasil penelitiannya menunjukkan bahwa kadar selulosa dari TKKS berhasil meningkat hampir dua kali lipat sekitar 84,2% dari yang semula 37,6%. Selain dari itu, proses pemutihan pada TKKS dapat menurunkan kandungan lignin dan hemiselulosa pada TKKS.

Penelitian ini menghadirkan sejumlah inovasi terbaru yang cukup signifikan dalam pemanfaatan limbah TKKS. Penggunaan proses pemutihan serta optimasi menggunakan *Response Surface Method* (RSM) dalam konteks produksi bioetanol dari TKKS merupakan hal baru dalam upaya memodifikasi komposisi dan karakteristik lignoselulosa TKKS serta mengoptimalkan proses untuk meningkatkan produksi bioetanol. Seluruh konsep ini dikemas dalam integrasi *biorifinery* yang komprehensif, menjembatani antara berbagai tahap pengolahan

mulai dari *pretreatment*, pemutihan, sakarifikasi dan fermentasi sehingga menghasilkan bioetanol. Selain dapat memberikan informasi terkait pemanfaatan limbah TKKS, penelitian ini juga berpotensi membuka jalan baru dalam pengolahan limbah sawit industri kelapa sawit.

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, dalam penelitian ini akan dilakukan pengolahan limbah lignoselulosa tandan kosong kelapa sawit menggunakan metode *Central Composite Design-Response Surface Method* (CCD-RSM) pada sakarifikasi untuk produksi bioetanol dengan dilakukan proses pemutihan menggunakan NaClO_2 dan H_2O_2 setelah *pretreatment* TKKS. Melalui penelitian ini diharapkan dapat meningkatkan produksi bioetanol sebagai energi terbarukan yang ramah lingkungan dan dapat mengurangi dampak negatif dari limbah TKKS yang dihasilkan industri kelapa sawit.

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana pengaruh proses pemutihan terhadap kandungan selulosa, hemiselulosa dan lignin?
2. Bagaimana kondisi optimum sakarifikasi enzimatik TKKS berdasarkan parameter konsentrasi enzim, *solid loading* dan suhu menggunakan metode *Central Composite Design-Response Surface Method* (CCD-RSM)?
3. Bagaimana pengaruh proses pemutihan terhadap produksi gula pereduksi dan bioetanol yang dihasilkan menggunakan metode sakarifikasi dan fermentasi terpisah?

1.3 Tujuan Penelitian

1. Menentukan pengaruh proses pemutihan terhadap kandungan selulosa, hemiselulosa dan lignin.
2. Menentukan kondisi optimum sakarifikasi enzimatik TKKS berdasarkan parameter konsentrasi enzim, *solid loading* dan suhu menggunakan metode *Central Composite Design-Response Surface Method* (CCD-RSM).
3. Menentukan pengaruh proses pemutihan terhadap produksi gula pereduksi dan bioetanol yang dihasilkan menggunakan metode sakarifikasi dan fermentasi terpisah.

1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat bagi perkembangan industri bioetanol berbasis TKKS dengan pendekatan konsep *biorefinery*. Hasil penelitian ini dapat memberikan informasi mengenai pengaruh proses pemutihan TKKS setelah *pretreatment* terhadap produksi bioetanol berbasis biomassa. Selain itu diharapkan mampu memberikan kontribusi penting dalam mengidentifikasi cara-cara efektif untuk meningkatkan produksi bioetanol dari TKKS secara berkelanjutan dan ramah lingkungan.

DAFTAR PUSTAKA

- Adewuyi, A. (2019). Challenges and prospects of renewable energy in Nigeria: A case of bioethanol and biodiesel production. In *Energy Reports* (Vol. 5, pp. 1408–1419). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2019.10.005>
- Amândio, M. S. T., Rocha, J. M. S., & Xavier, A. M. R. B. (2023). Enzymatic Hydrolysis Strategies for Cellulosic Sugars Production to Obtain Bioethanol from *Eucalyptus globulus* Bark. *Fermentation*, 9(3). <https://doi.org/10.3390/fermentation9030241>
- Awal, P., Sudiyani, Y., Abimanyu, H., Sudiyani, Y., & Haznan Abimanyu, dan. (2016a). Optimasi Proses Perlakuan Awal NaOH Tandan Kosong Kelapa Sawit untuk menjadi Bioetanol. *Terap.Indones*, 18(1), 27–35. <http://kimia.lipi.go.id/inajac/index.php>
- Awal, P., Sudiyani, Y., Abimanyu, H., Sudiyani, Y., & Haznan Abimanyu, dan. (2016b). Optimasi Proses Perlakuan Awal NaOH Tandan Kosong Kelapa Sawit untuk menjadi Bioetanol. *Terap.Indones*, 18(1), 27–35. <http://kimia.lipi.go.id/inajac/index.php>
- Aznury, M., & Setiadi, T. (2021). Identifikasi Senyawa Asam Lemak Volatil dari Air Limbah Industri Minyak Kelapa Sawit untuk Produksi Polihidroksialkanoat. *Jurnal Selulosa*, 11(01), 49. <https://doi.org/10.25269/jsel.v11i01.340>
- Azriza, R.O., Nurhadini., & Arkan, F. 2023. Synthesis and Characterization of Cellulose Acetate from α -Cellulose of Paper Waste. *Indonesian Journal Fundamental and Chemistry*, 8(2), 82-87. <https://doi.org/10.24845/ijfac.v8.i2.82>.
- Baruah, J., Nath, B. K., Sharma, R., Kumar, S., Deka, R. C., Baruah, D. C., & Kalita, E. (2018). Recent trends in the pretreatment of lignocellulosic biomass for value-added products. In *Frontiers in Energy Research* (Vol. 6, Issue DEC). Frontiers Media S.A. <https://doi.org/10.3389/fenrg.2018.00141>
- Chen, G., Dong, J., Wan, J., Ma, Y., & Wang, Y. (2023). Fiber characterization of old corrugated container bleached pulp with laccase and glycine pretreatment. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 13(2), 583–592. <https://doi.org/10.1007/s13399-020-01200-3>
- Derman, E., Abdulla, R., Marbawi, H., & Sabullah, M. K. (2018). Oil palm empty fruit bunches as a promising feedstock for bioethanol production in Malaysia. In *Renewable Energy* (Vol. 129, pp. 285–298). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2018.06.003>
- Falah, M., & Nelza, N. (2019). Pembuatan Biopelet dari Limbah Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) Sebagai Bahan Bakar Terbarukan. *Jurnal Ready Star*, 2(01). 90-95.

- Galbe, M., Wallberg, O., & Zacchi, G. (2011). Techno-Economic Aspects of Ethanol Production from Lignocellulosic Agricultural Crops and Residues. In *Comprehensive Biotechnology, Second Edition* (Vol. 6, pp. 615–628). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-088504-9.00298-1>
- Gea, S., Siregar, A. H., Zaidar, E., Harahap, M., Indrawan, D. P., & Perangin-Angin, Y. A. (2020a). Isolation and characterisation of cellulose nanofibre and lignin from oil palm empty fruit bunches. *Materials*, *13*(10). <https://doi.org/10.3390/ma13102290>
- Gea, S., Siregar, A. H., Zaidar, E., Harahap, M., Indrawan, D. P., & Perangin-Angin, Y. A. (2020b). Isolation and characterisation of cellulose nanofibre and lignin from oil palm empty fruit bunches. *Materials*, *13*(10). <https://doi.org/10.3390/ma13102290>
- Hambali, E., & Rivai, M. (2017). The Potential of Palm Oil Waste Biomass in Indonesia in 2020 and 2030. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, *65*(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/65/1/012050>
- Horváth, I. S., Franzén, C. J., Taherzadeh, M. J., Niklasson, C., & Lidén, G. (2003). Effects of furfural on the respiratory metabolism of *Saccharomyces cerevisiae* in glucose-limited chemostats. *Applied and Environmental Microbiology*, *69*(7), 4076–4086. <https://doi.org/10.1128/AEM.69.7.4076-4086.2003>
- Hu, L., Fang, X., Du, M., Luo, F., & Guo, S. (2020). Hemicellulose-Based Polymers Processing and Application. *American Journal of Plant Sciences*, *11*(12), 2066–2079. <https://doi.org/10.4236/ajps.2020.1112146>
- Iskandar, S. 2017. *Ilmu Teknik Kimia*. Yogyakarta: Deepublish.
- Jonoobi, M., Khazaeian, A., Tahir, P. M., Azry, S. S., & Oksman, K. (2011). Characteristics of cellulose nanofibers isolated from rubberwood and empty fruit bunches of oil palm using chemo-mechanical process. *Cellulose*, *18*(4), 1085–1095. <https://doi.org/10.1007/s10570-011-9546-7>
- Li, L., Zhou, W., Wu, H., Yunyu, Liu, F & Zhu, D. 2014. Relationship between Crystallinity Index and Enzymatic Hydrolysis Performance of Celluloses Separated from Aquatic and Terrestrial Plant Materials. *Bioresources*, *9*(3), 3393-4005.
- Lineback, C. B., Nkemngong, C. A., Wu, S. T., Li, X., Teska, P. J., & Oliver, H. F. (2018). Hydrogen peroxide and sodium hypochlorite disinfectants are more effective against *Staphylococcus aureus* and *Pseudomonas aeruginosa* biofilms than quaternary ammonium compounds. *Antimicrobial Resistance and Infection Control*, *7*(1). <https://doi.org/10.1186/s13756-018-0447-5>

- Luong, N. D., Binh, N. T. T., Duong, L. D., Kim, D. O., Kim, D. S., Lee, S. H., Kim, B. J., Lee, Y. S., & Nam, J. Do. (2012). An eco-friendly and efficient route of lignin extraction from black liquor and a lignin-based copolyester synthesis. *Polymer Bulletin*, 68(3), 879–890. <https://doi.org/10.1007/s00289-011-0658-x>
- Mahmud, M. S., & Chong, K. P. (2021). Formulation of biofertilizers from oil palm empty fruit bunches and plant growth-promoting microbes: A comprehensive and novel approach towards plant health. In *Journal of King Saud University - Science* (Vol. 33, Issue 8). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2021.101647>
- Mariana De Aguiar, C., Rufino, A. R., Din, S., Hasan, M., & Luiz De Lucena, S. (2019). Effects of pH and Temperature on the Enzymatic Hydrolysis of Crop Residues by Fungal Cellulases. *International Journal of Scientific & Engineering Research*, 10(11). <http://www.ijser.org>
- Maryana, R., Muryanto, Triwahyuni, E., Oktaviani, O., Prasetya, H., Das, A.K., & Sudayani, Y. (2021). Extraction of Cellulose Acetate From Cajuput (*Melaleuca leucadendron*) Twigs and Sugarcane (*Saccharum ocinarum*) Bagasse by Environmentally Friendly Approach. *Waste and Biomass Valorization*. 1(43), 1535-1545 <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-615964/v1>
- Maryana, R., Anwar, M., Hasanah, S. U., Fitriana, E., Suwanto, A., & Rizal, W. A. (2020). Cellulose acetate production from paddy rice straw and oil palm empty fruit bunch: Trichloroacetate catalyst. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 462(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/462/1/012054>
- Maryana, R., Bardant, T. B., Santi, E. L., Triwahyuni, E., Muryanto, Oktaviani, & Dahnum, D. (2022a). Bioethanol production process with SHF method from EFBs pulp and its microcrystalline. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1108(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1108/1/012021>
- Maryana, R., Bardant, T. B., Santi, E. L., Triwahyuni, E., Muryanto, Oktaviani, & Dahnum, D. (2022b). Bioethanol production process with SHF method from EFBs pulp and its microcrystalline. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1108(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1108/1/012021>
- Maryana, R., Ma'rifatun, D., Wheni, I. A., K.w., S., & Rizal, W. A. (2014). Alkaline pretreatment on sugarcane bagasse for bioethanol production. *Energy Procedia*, 47, 250–254. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2014.01.221>
- Maryana, R., Nakagawa-izumi, A., Kajiyama, M., & Ohi, H. (2017). Environment-Friendly Non-Sulfur Cooking and Totally ChlorineFree Bleaching for Preparation of Sugarcane Bagasse Cellulose. *Journal of Fiber*

Science and Technology, 73(8), 182–191.
<https://doi.org/10.2115/fiberst.2017-0025>

- Miksusanti, Solihah, I., & Wijaya, D.P. 2020. *Pati Umbi-Umbian dan Resistensi Starch Sebagai Prebiotik Untuk Kesehatan*. Pekalongan: Nasya Expanding Management.
- Mondal, P., Sadhukhan, A. K., Ganguly, A., & Gupta, P. (2021). Optimization of process parameters for bio-enzymatic and enzymatic saccharification of waste broken rice for ethanol production using response surface methodology and artificial neural network–genetic algorithm. *3 Biotech*, 11(1). <https://doi.org/10.1007/s13205-020-02553-2>
- Moreno-Arribas, M. V., & Polo, M. C. (2009). Wine chemistry and biochemistry. In *Wine Chemistry and Biochemistry*. Springer New York. <https://doi.org/10.1007/978-0-387-74118-5>
- Muley, P. D., Boldor, D., & Siess, C. P. (2017). Advances In Biomass Pretreatment and Cellulosic Bioethanol Production Using Microwave Heating. *Proceedings of Seep*, 1(1). 27-30.
- Muniraj, I. K., Desikan, R., & Subburamu, K. (2019). Perspectives and Prospects of Fermentation Technology. In *Advances in Food Bioproducts and Bioprocessing Technologies* (pp. 217–232). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9780429331817-10>
- Mussatto, S. I., Dragone, G., Fernandes, M., Milagres, A. M. F., & Roberto, I. C. (2008). The effect of agitation speed, enzyme loading and substrate concentration on enzymatic hydrolysis of cellulose from brewer's spent grain. *Cellulose*, 15(5), 711–721. <https://doi.org/10.1007/s10570-008-9215-7>
- Ngadi, N., & Lani, N. S. (2014). Extraction and characterization of cellulose from empty fruit bunch (EFB) fiber. *Jurnal Teknologi (Sciences and Engineering)*, 68(5), 35–39. <https://doi.org/10.11113/jt.v68.3028>
- Novaes, E., Kirst, M., Chiang, V., Winter-Sederoff, H., & Sederoff, R. (2010). Lignin and biomass: A negative correlation for wood formation and lignin content in trees. *Plant Physiology*, 154(2), 555–561. <https://doi.org/10.1104/pp.110.161281>
- Novozymes. 2015. *Fuel Ethanol Application Sheet Cellic® CTec2 and HTec2-Enzymes for hydrolysis of lignocellulosic materials*. Denmark: Novozymes A/S.
- Nurhidayanti, V., Cahyani, C., Nirwana, W.O.C., & Dewi, L.F. 2018. *Pengantar Teknologi Fermentasi Skala Industri*. Malang: UB Press.
- Panić, V. V., Šešlija, S. I., Nešić, A. R., & Veličković, S. J. (2013). Adsorpcija azo boja na polimernim materijalima. *Hemijaska Industrija*, 67(6), 881–900. <https://doi.org/10.2298/HEMIND121203020P>

- Peral, C. (2016). Biomass Pretreatment Strategies (Technologies, Environmental Performance, Economic Considerations, Industrial Implementation). In *Biotransformation of Agricultural Waste and By-Products: The Food, Feed, Fibre, Fuel (4F) Economy* (pp. 125–160). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803622-8.00005-7>
- Praevia, M. F., & Widayat, W. (2022). Analisis Pemanfaatan Limbah Tandan Kosong Kelapa Sawit Sebagai Cofiring pada PLTU Batubara. *Jurnal Energi Baru Dan Terbarukan*, 3(1), 28–37. <https://doi.org/10.14710/jebt.2022.13367>
- Prayitno Susanto, J., Dwi Santoso, A., Nawa Suwedi, D., Pusat Teknologi Lingkungan, P., Gedung, B., Puspipetek Serpong, K., & Selatan, T. (2017). Perhitungan Potensi Limbah Padat Kelapa Sawit untuk Sumber Energi Terbaharukan dengan Metode LCA Palm Solid Wastes Potential Calculation for Renewable Energy with LCA Method. In *Jurnal Teknologi Lingkungan* (Vol. 18, Issue 2).
- Presley, J. R., & Kindron, R. R. (1987). Hydrogen Peroxide Bleaching. *TAPPI Notes*, 73–86. <https://doi.org/10.1016/b978-0-444-59421-1.00005-3>
- Putri, M.A., Afriwana, S.D., Pulungan, S.H., & Hasibuan A. (2023). Analisis Pemanfaatan Limbah Tandan Kosong Kelapa Sawit Sebagai Pupuk Bagi Masyarakat Simandiangan Kab. Labuhanbatu Selatan. *Journal of Health and Medical Research*, 3(03), 408-412.
- Qi, B., Chen, X., Shen, F., Su, Y., & Wan, Y. (2009). Optimization of enzymatic hydrolysis of wheat straw pretreated by alkaline peroxide using response surface methodology. *Industrial and Engineering Chemistry Research*, 48(15), 7346–7353. <https://doi.org/10.1021/ie8016863>
- Ramaraj, R., & Unpaprom, Y. (2019). Optimization of pretreatment condition for ethanol production from *Cyperus difformis* by response surface methodology. *3 Biotech*, 9(6). <https://doi.org/10.1007/s13205-019-1754-0>
- Rao, J., Lv, Z., Chen, G., & Peng, F. (2023). Hemicellulose: Structure, chemical modification, and application. In *Progress in Polymer Science* (Vol. 140). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.progpolymsci.2023.101675>
- Septevani, A. A., Burhani, D., & Sudiarmanto, S. (2018a). Pengaruh Proses Pemutihan Multi Tahap Serat Selulosa dari Limbah Tandan Kosong Kelapa Sawit. *Jurnal Kimia Dan Kemasan*, 40(2), 71. <https://doi.org/10.24817/jkk.v40i2.3508>
- Septevani, A. A., Burhani, D., & Sudiarmanto, S. (2018b). Pengaruh Proses Pemutihan Multi Tahap Serat Selulosa dari Limbah Tandan Kosong Kelapa Sawit. *Jurnal Kimia Dan Kemasan*, 40(2), 71. <https://doi.org/10.24817/jkk.v40i2.3508>

- Septevani, A. A., Burhani, D., & Sudiyarmanto, S. (2018c). Pengaruh Proses Pemutihan Multi Tahap Serat Selulosa dari Limbah Tandan Kosong Kelapa Sawit. *Jurnal Kimia Dan Kemasan*, 40(2), 71. <https://doi.org/10.24817/jkk.v40i2.3508>
- Serrano, L., Cecilia, J. A., García-Sancho, C., & García, A. (2019). Lignin Depolymerization to BTXs. In *Topics in Current Chemistry* (Vol. 377, Issue 5). Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/s41061-019-0251-6>
- Shahid Nazir, M., Ari Wahjoedi, B., Wahid Yussof, A., & Azmuddin Abdullah, M. (2013). MCC from OPEFB. In *BioResources* (Vol. 8, Issue 2).
- Simanullang, S., Ermawar, R. A., Nawawi, D. S., & Hermiati, E. (2023). Optimization of oil palm empty fruit bunch pretreatment with microwave heating and aluminum salt catalysts for enhancing its enzymatic hydrolysis. *Biomass Conversion and Biorefinery*. <https://doi.org/10.1007/s13399-023-04169-x>
- Singh, A., Singhanian, R. R., Soam, S., Chen, C. W., Haldar, D., Varjani, S., Chang, J. S., Dong, C. Di, & Patel, A. K. (2022). Production of bioethanol from food waste: Status and perspectives. In *Bioresource Technology* (Vol. 360, pp. 1–13). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2022.127651>
- Smuga-Kogut, M., Zgórska, K., & Szymanowska-Powalowska, D. (2016). Influence of the crystalline structure of cellulose on the production of ethanol from lignocellulose biomass. *International Agrophysics*, 30(1), 83–88. <https://doi.org/10.1515/intag-2015-0072>
- Sudiyani, A., Heru, R., & Alawiyah, S. 2010. Pemanfaatan Biomassa Limbah Lignoselulosa Sebagai Sumber Energi Baru Terbarukan. *Jurnal Ecolab*, 4(01). 40-47.
- Sudiyani, Y., & Hermiati, E. (2010). Utilization of Oil Palm Empty Fruit Bunch (OPEFB) for Bioethanol Production Through Alkali and Dilute Acid Pretreatment and Simultaneous Saccharification and Fermentation. In *Indo. J. Chem* (Issue 2).
- Sudiyani, Y., Aiman, S. & Mansur, D. 2019. *Perkembangan Bioetanol G2: Teknologi dan Perspektif*. Jakarta: LIPI Press.
- Sudiyani, Y., Styarini, D., Triwahyuni, E., Sudiyarmanto, Sembiring, K. C., Aristiawan, Y., Abimanyu, H., & Han, M. H. (2013). Utilization of biomass waste empty fruit bunch fiber of palm oil for bioethanol production using pilot - Scale unit. *Energy Procedia*, 32, 31–38. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2013.05.005>
- Suhartini, S., Rohma, N. A., Mardawati, E., Kasbawati, Hidayat, N., & Melville, L. (2022). Biorefining of oil palm empty fruit bunches for bioethanol and

- xylitol production in Indonesia: A review. In *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (Vol. 154). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111817>
- Sun, J. X., Sun, X. F., Zhao, H., & Sun, R. C. (2004). Isolation and characterization of cellulose from sugarcane bagasse. *Polymer Degradation and Stability*, 84(2), 331–339. <https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2004.02.008>
- Susanto, J.P., Santoso, A.D., & Suwedi, D.N. Perhitungan Potensi Limbah Padat Kelapa Sawit untuk Sumber Energi Terbaharukan dengan Metode LCA. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 18(2). 165-172.
- Susilo, B., Izza, N., & Damayanti, R. 2017. *Teknik Bioenergi*. Malang: UB Press.
- Trisakti, B. & Sijabat, I.P. (2020). Profil pH dan Volatile Suspended Solids pada Proses Pengomposan Tandan Kosong Kelapa Sawit Menggunakan Pupuk Cair Organik Aktif sebagai co-Composting. *Jurnal Teknik Kimia USU*, 9(1), 11-15.
- Walker, G. M., & Stewart, G. G. (2016). *Saccharomyces cerevisiae* in the production of fermented beverages. In *Beverages* (Vol. 2, Issue 4). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/beverages2040030>
- Wibowo, A., Usman, A., Hidayat, A., & Purnomo, R. H. (2019). Pemanfaatan Limbah Pabrik Kelapa Sawit (PKS) Sebagai Energi Alternatif Biogas Melalui Sistem Biodigester. *Agroteknika*, 2(2), 95–99. <https://doi.org/10.32530/agroteknika.v2i2.42>
- Xie, G., Bruce, D. C., Challacombe, J. F., Chertkov, O., Detter, J. C., Gilna, P., Han, C. S., Lucas, S., Misra, M., Myers, G. L., Richardson, P., Tapia, R., Thayer, N., Thompson, L. S., Brettin, T. S., Henrissat, B., Wilson, D. B., & McBride, M. J. (2007). Genome sequence of the cellulolytic gliding bacterium *Cytophaga hutchinsonii*. *Applied and Environmental Microbiology*, 73(11), 3536–3546. <https://doi.org/10.1128/AEM.00225-07>
- Yee, S., Lim, Y. C., Goh, C. F., Kotra, V., & Ming, L. C. (2020). Efficacy of chlorine dioxide as a disinfectant. In *Progress in Microbes and Molecular Biology* (Vol. 3, Issue 1). HH Publisher. <https://doi.org/10.36877/pmmb.a0000128>
- Yücel, Y., & Göycüncük, S. (2015). Optimization and Modelling of Process Conditions Using Response Surface Methodology (RSM) for Enzymatic Saccharification of Spent Tea Waste (STW). *Waste and Biomass Valorization*, 6(6), 1077–1084. <https://doi.org/10.1007/s12649-015-9395-y>
- Zahroh, S. F., Syamsu, K., Haditjaroko, L., & Kartawiria, I. S. (2021). Potential and prospect of various raw materials for bioethanol production in Indonesia:

A review. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 749(1).
<https://doi.org/10.1088/1755-1315/749/1/012060>