

**STUDI EFEKTIVITAS DELIGNIFIKASI TANDAN KOSONG KELAPA
SAWIT MENGGUNAKAN ASAM FORMAT UNTUK PRODUKSI GULA
PEREDUKSI**

SKRIPSI

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



Muhammad Gilang Satriani

08031282126069

JURUSAN KIMIA

FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM

UNIVERSITAS SRIWIJAYA

2025

HALAMAN PENGESAHAN

STUDI EFEKTIVITAS DELIGNIFIKASI TANDAN KOSONG KELAPA SAWIT MENGGUNAKAN ASAM FORMAT UNTUK PRODUKSI GULA PEREDUKSI

SKRIPSI

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

Diusulkan Oleh :

MUHAMMAD GILANG SATRIANI

08031282126069

Indralaya, 21 Juli 2025

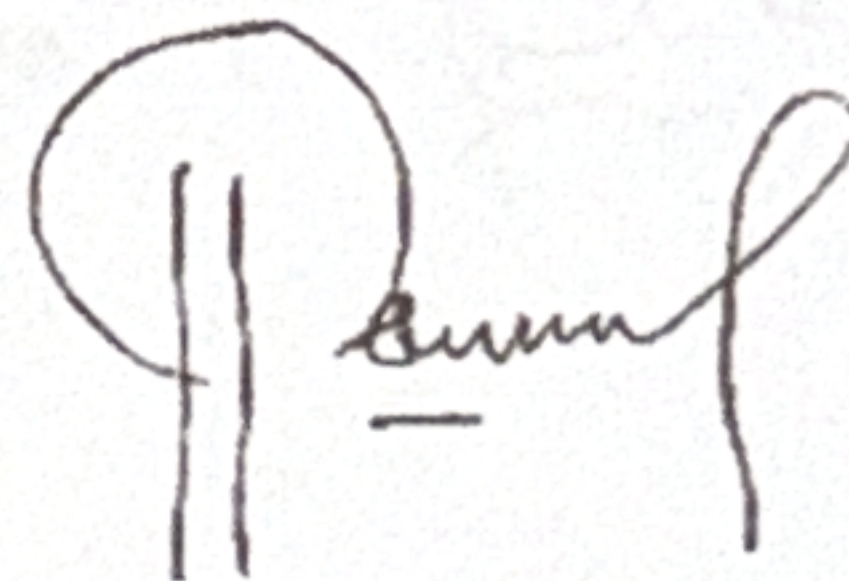
Telah disetujui oleh

Dosen Pembimbing I



Dr. Muhammad Said, M.T
NIP 197407212001121001

Dosen Pembimbing II



Prof. Roni Maryana Ph.D.
NIP : 197911072006041003

Mengetahui,

Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam




Prof. Hermansyah, S.Si., M.Si., Ph.D
NIP 1971111919979021001

HALAMAN PERSETUJUAN

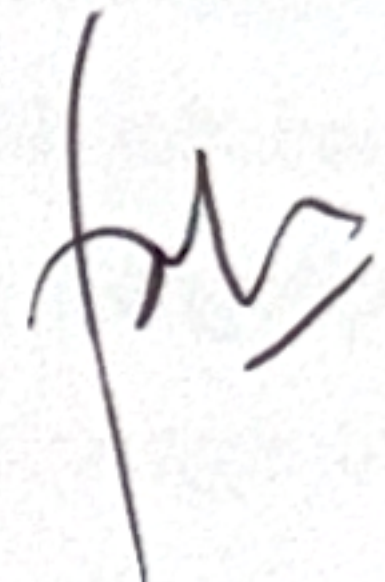
Karya tulis ilmiah berupa skripsi M. Gilang Satriani (08031282126069) dengan judul “Studi Efektivitas Delignifikasi Tandan Kosong Kelapa Sawit Menggunakan Asam Format Untuk Produksi Gula Pereduksi”. Telah disidangkan dihadapan Tim Penguji Seminar Hasil Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Sriwijaya pada 16 Julii 2025 dan telah diperbaiki, diperiksa, serta disetujui sesuai masukan yang telah diberikan.

Indralaya, 21 Juli 2025

Ketua :

1. **Dra. Fatma, MS.**

NIP. 196207131991022001

()

Anggota :

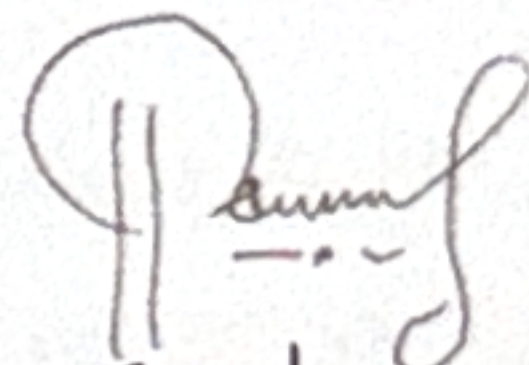
1. **Dr. Muhammad Said, M.T**

NIP. 197407212001121001

()

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

NIP. 197911072006041003

()

3. **Dr. Eng. Bijak Riyandi Ahadito, S.Si., M.Eng.**

NIP. 199401162022031009

()

Mengetahui,

Dekan FMIPA




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

NIP. 1971111919979021001

Ketua Jurusan Kimia




Prof. Dr. Muharni, M.Si

NIP. 196903041994122001

PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama Mahasiswa : M. Gilang Satriani

NIM : 080381282126069

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 lainnya. 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, 21 Juli 2025

Yang menyatakan,



M. Gilang Satriani

NIM. 08031282126069

HALAMAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai civitas akademik Universitas Sriwijaya, yang bertanda tangan dibawah

Ini:

Nama Mahasiswa : M. Gilang Satriani

NIM : 08031282126069

Fakultas/Jurusan : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam/Kimia

Jenis Karya : Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, saya menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Sriwijaya “Studi Efektivitas Delignifikasi Tandan Kosong Kelapa Sawit Untuk Produksi Gula Pereduksi.” Dengan hak bebas royalti non eksklusif ini Universitas Sriwijaya berhak menyimpan, mengalih, edit/memformatkan, 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, 21 Juli 2025

Yang menyatakan,



M. Gilang Satriani

NIM. 08031282126069

HALAMAN PERSEMBAHAN

“Keep your mind sharp and steady, even the fiercest storms bow to quiet strength”

“Segala yang terjadi, baik yang ditunggu maupun yang datang tiba-tiba, semua sudah ada yang atur, Hanya perlu berjalan dengan iman.”

“Sesungguhnya Allah beserta orang-orang yang sabar.”

QS. Al-Baqarah (2): 153

Dengan rasa terimakasih dan syukur sebesar-besarnya, skripsi ini penulis persembahkan untuk:

1. Mama dan Papa penulis, yang terus memberi semangat dan memfasilitasi kebutuhan penulis meraih gelar sarjana dengan penuh rasa sayang.
2. Keluarga besar penulis yang selalu hadir dan memberi semangat dalam proses menyelesaikan karya ilmiah
3. Dosen pembimbing (Bapak Dr. Muhammad Said, M.T dan Bapak Prof. Roni Maryana, Ph.D.) dan Dosen Akademik (Ibu Dr. Ferlinahayati, M.Si.)
4. Seluruh dosen jurusan Kimia.
5. Tempat penulis menuntut ilmu hingga meraih gelar (Universitas Sriwijaya)
6. Penulis.

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT yang senantiasa memberikan keringanan, kelancaran dan keberkahan bagi penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Studi Efektivitas Delignifikasi Tandan Kosong Kelapa Sawit Menggunakan Asam Format untuk Produksi Gula Pereduksi” sebagai salah satu syarat untuk memperoleh Gelar Sarjana Sains bidang studi Kimia Universitas Sriwijaya. Dengan segenap cinta dan kasih, penulis persembahkan ucapan terimakasih untuk:

1. Allah SWT. Yang telah memberikan penulis keringanan, kelancaran dan keberkahan bagi penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan perkuliahan dengan ikhlas dan penuh semangat.
2. Mama dan Papa sebagai dua pilar utama saya untuk terus melanjutkan perkuliahan, penulis mengucapkan terimakasih karena sudah menjadi orang tua yang sangat *best*, penulis berjanji untuk membalas jasa kalian berdua yang tidak ternilai itu kelak di masa yang akan datang.
3. Bapak Prof. Hermansyah, M.Si., Ph.D. selaku Dekan FMIPA Universitas Sriwijaya.
4. Ibu Prof. Dr. Muharni, M.Si. selaku ketua Jurusan Kimia FMIPA Universitas Sriwijaya.
5. Ibu Dr. Ferlinahayati, M.Si. selaku dosen akademik dan pra-tugas akhir penulis. Terimakasih atas semua masukan dan bimbingan yang diberikan kepada penulis, penulis sampaikan rasa syukur dan terimakasih yang sebesar-besarnya.
6. Bapak Dr. Muhammad Said, M.T. selaku dosen pembimbing tugas akhir. Terimakasih bapak atas bimbingan, masukan, dan arahan yang diberikan, dimulai dari penulis mengurus berkas magang sampai penulis selesai sidang skripsi. Semoga bapak dan keluarga selalu sehat dan semuanya dilancarkan Allah SWT.
7. Bapak Prof. Roni Maryana, Ph.D. selaku pembimbing semasa penulis magang dan mengerjakan tugas akhir di BRIN. Terimakasih bapak atas bimbingan dan pembelajaran dalam berkerja dan menulis karya ilmiah, saya

ucapkan rasa syukur dan terimakasih yang sebesar-besarnya, semoga bapak dan keluarga selalu sehat dan semuanya dilancarkan Allah SWT.

8. Ibu Dra. Fatma M.S., Bapak Dr. Eng. Bijak Riyandi Ahadito, S.Si., M. Eng. Selaku dosen pembahas pada saat seminar dan dosen penguji pada saat sidang. Terimakasih atas pembelajaran yang diberikan baik dalam penulisan karya ilmiah, *rat doto* (Pak Bijak). Semoga Ibu/Bapak dan keluarga selalu diberikan kesehatan dan kelancaran akan segala hal.
9. Seluruh Dosen Kimia FMIPA yang telah mendidik dan membimbing selama masa pembelajaran, dimulai dari semester 1 hingga semester 8. Semoga ilmu yang diberikan dapat berguna bagi penulis untuk seterusnya.
10. Kak In dan Mbak Novi, selaku admin jurusan kimia yang selalu *standby* jika penulis perlu untuk mengurus berkas dan menanyakan hal seputar jurusan, penulis ucapkan terimakasih sudah banyak membantu dalam mengurus berkas mulai dari seminar hasil hingga sidang. Terimakasih sudah mengurus surat-menyurat penulis sampai akhirnya penulis dapat meraih gelar sarjana.
11. Tiga teman seperjuangan penulis sedari SMA: Ahmad Hutri Semendawai, Muhammad Kevin Darrel, dan Chrisjuanito Clancy. Penulis ucapkan terimakasih karena sudah menjadi bagian dalam hidup penulis, penyemangat penulis dalam hidup dan terus berkembang menjadi pribadi yang lebih baik daripada hari sebelumnya. Walaupun berbeda jurusan tetapi visi kalian dan penulis tetap sama.
12. “X” selaku variabel yang sangat berpengaruh kepada penulis dalam menjalankan hidup sebagai mahasiswa sedari awal perkuliahan. Saya ucapkan terimakasih karena sudah berpengaruh sangat besar dan rasa maaf yang sebesar-besarnya, “*may life guide you to the point where peace and comfort find you.*”
13. Tsabitha Arienthara Putri Ayendra salah satu mahasiswa Universitas Indonesia selaku *Partner in Crime* penulis dalam berbagai hal, penulis ucapkan terimakasih karena selalu hadir di beberapa *canon event* yang dialami penulis, semoga kuliah dan magangnya lancar hingga meraih gelar S.Si. itu.

14. Teman seperjuangan kuliah penulis: Ilga, Adit, Fahry, Yudha,. Penulis ucapkan terimakasih yang sebesar-besarnya karena sudah menjadi teman dekat pertama penulis dalam proses perkuliahan *offline*, waktu berjalan sangat cepat, sebagian dari kalian sudah ada yang lulus dan melamar untuk berkerja. Semoga segala urusan dimudahkan dan semangat terus ya kalian semua.
15. Teman-teman “Gang Buntu” -Aan, Aga, Adit, Tristan, Manda, Kya, Cici, Awny, Cecil-. Terimakasih karena sudah menjadikan penulis bagian dari keluarga gang buntu dan menjadikan dunia perkuliahan penulis lebih berwarna dari sebelumnya. “Semoga hidup kalian baik baik saja”
16. Nur’aini Ayu Lestari selaku *bestie* penulis selama masa magang hingga penulis meraih gelar sarjana. Penulis ucapkan terimakasih yang sebesar-besarnya atas pembelajaran dan pendapat yang diutarakan ke penulis saat penulis merasa *down*.
17. Adik-adik angkatan 22 dan 23 yang berujung NIM-69, Risa dan Fany. Terimakasih karena sudah menjadi sepenggal cerita dari kehidupan kuliah penulis, walaupun penulis agak susah dihubungi atau jarang interaksi (maaf), Semoga risa makin jago gambarnya dan fany makin sering untuk ikut kegiatan musik lagi, abang doakan untuk kedepannya kalian jadi lebih baik daripada angkatan 21 ujung NIM-69 ini ya, lancar-lancar kuliahnya!!
18. Teman-teman HR yang namanya tidak bisa disebutkan satu satu. Penulis ucapkan terimakasih banyak karena sudah hadir ditengah-tengah *struggle* penulis dalam masa magang.
19. Teman-teman KOICA BRIN: Ka Aya, Ka rini, Farsyad, Dapa, Prince, Bang Jo, Mas Ikin, Rahul, dll. Terimakasih atas pembelajaran dan ilmu yang diajarkan peneliti pada saat masa awal magang. Semoga kalian sehat sehat dimanapun kalian berada.
20. Keluarga BR(A)IN OUT : Aghni, Rahel, Wiwik, Tristan, dan Kya. Terimakasih karena sudah membuat kehidupan magang penulis selama 6 bulan lebih berwarna. Kalian sudah menjadi tempat pulang, tempat bercerita penulis dalam menghadapi kesulitan-kesulitan yang dialami bersama. Semoga kalian semua sukses untuk seterusnya.

21. Reysa dan Fauzan. Terimakasih sudah menjadi tempat pulang penulis pada saat sulit dan kelelahan. Semoga kalian sukses untuk kedepannya.
22. Teman-teman yang selalu hadir dalam masa perkuliahan penulis: Auzan, Niko, Adit Anan, Bagus, Ale, Sarah, Devi, Mianita, Terimakasih atas semua kebaikan yang penulis terima, dan mohon dimaafkan apabila penulis ada melakukan kesalahan baik yang sengaja ataupun tidak disengaja.
23. HIMAKI, tempat dimana penulis berproses dan bertumbuh. Terimakasih karena telah menjadi naungan penulis dikala penulis berkembang akan kegiatan ber-organisasi.
24. Teman-teman LAWRENSIUM, Kimia angkatan 2021. Penulis ucapkan terimakasih karena sudah mau berteman dan berproses bersama dalam waktu kurang lebih 4 tahun dan maaf yang sebesar-besarnya jika penulis ada kesalahan yang sengaja maupun tak-disengaja.
25. M. Gilang Satriani selaku penulis. Terimakasih atas kerja kerasnya selama 4 tahun ini, kita sudah melewati banyak sekali cobaan dalam menamatkan perkuliahan dan akan lebih banyak lagi seterusnya, jadi tetap menjadi pribadi yang kuat dan tetaplah jadi seorang pekerja keras hingga akhir hayat.

Demikian ucapan terimakasih ini penulis sampaikan. Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan skripsi ini masih jauh dari kata sempurna, oleh karena itu penulis mengharapkan saran dan kritik yang membangun demi perbaikan di masa yang akan datang. Semoga karya ini dapat memberikan manfaat bagi semua pihak yang membacanya.

Indralaya, 21 Juli 2025

Yang menyatakan,

M. Gilang Satriani
NIM. 08031282126069

SUMMARY

Study on the Effectiveness of Delignification of using Formic Acid Oil Palm Empty Fruit Bunches for Production of Reducing Sugar

Muhammad Gilang Satriani: Supervised by Dr. Muhammad Said, M.T and Roni Maryana Ph.D.

Chemistry, Faculty of Mathematics and Natural Sciences, University of Sriwijaya University xii + 54 Pages, 7 Tables, 7 Pictures, 10 Appendices

This study aims to determine the degree of efficiency of formic acid in the delignification of oil palm empty fruit bunches (OPEFB) for the purposes of sugar production, as compared to sodium hydroxide (NaOH) pretreatment. As a lignocellulosic biomass, OPEFB's enzymatic hydrolysis is limited by its high lignin content, although it constitutes a rich source of cellulose. The pretreatment process was carried out with changes in temperature, time, and formic acid concentration, optimized through Central Composite Design-Response Surface Methodology (CCD-RSM). The findings indicated that 70% formic acid at 120 °C for eight hours resulted in the lowest residual lignin of 3.27% and the highest cellulose content at 75.67%. For comparison, NaOH pretreatment at 150 °C for 30 minutes yielded 6.17% residual lignin and 68.86% cellulose. In addition, the crystallinity index increased from 69,97% to 72,87% after delignification, with FTIR analysis showing the removal of various lignin functional groups. Overall, formic acid proves to be a better alternative to eliminate lignin and increase sugar yield from OPEFB in terms of environmental friendliness and efficiency.

Keywords: Oil Palm Empty Fruit Bunches (OPEFB), Formic Acid, Lignin, Cellulose, Delignification

RINGKASAN

Studi Efektivitas Delignifikasi Tandan Kosong Kelapa Sawit menggunakan Asam Format Untuk Produksi Gula Pereduksi

Muhammad Gilang Satriani : Dibimbing oleh Dr. Muhammad Said, M.T dan Roni Maryana Ph.D.

Kimia, Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Sriwijaya
xii + 54 Halaman, 7 Tabel, 7 Gambar, 10 Lampiran

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui tingkat efektivitas asam format dalam proses delignifikasi tandan kosong kelapa sawit (TKKS) untuk produksi gula, serta membandingkannya dengan perlakuan menggunakan natrium hidroksida (NaOH). TKKS merupakan biomassa lignoselulosa yang kaya akan selulosa, namun proses hidrolisis enzimatisnya terhambat oleh tingginya kandungan lignin. Proses praperlakuan dilakukan dengan variasi suhu, waktu, dan konsentrasi asam format, yang dioptimasi menggunakan metode *central composite design–response surface methodology* (CCD-RSM). Hasil penelitian menunjukkan bahwa perlakuan dengan asam format 70% pada suhu 120 °C selama delapan jam menghasilkan lignin tersisa paling rendah, yaitu sebesar 3,27%, dan kandungan selulosa tertinggi sebesar 75,67%. Sebagai pembanding, *pretreatment* dengan NaOH pada suhu 150 °C selama 30 menit menghasilkan lignin tersisa sebesar 6,17% dan kandungan selulosa sebesar 68,86%. Selain itu, indeks kristalinitas meningkat dari 69,97% menjadi 72,87% setelah proses delignifikasi, dan analisis FTIR menunjukkan hilangnya beberapa gugus fungsi lignin. Secara keseluruhan, asam format terbukti menjadi alternatif yang lebih efektif dan ramah lingkungan untuk mengurangi kadar lignin dan meningkatkan kadar gula dari TKKS.

Kata Kunci: Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS), Asam Format, Lignin, Selulosa, Delignifikasi

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN.....	i
PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH	iii
HALAMAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS	iv
HALAMAN PERSEMBAHAN	v
KATA PENGANTAR.....	vi
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	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Biomassa.....	4
2.2 Tandan Kosong Kelapa Sawit.....	5
2.3 Lignin.....	6
2.4 Senyawa Karbohidrat	7
2.5 Selulosa.....	8
2.6 Hemiselulosa	9
2.7 Maserasi dan Delignifikasi	10
2.8 Sakarifikasi	11
2.9 Gula Pereduksi.....	12
2.10 Karakterisasi	13
2.10.1 <i>Fourier Transform Infrared Spectroscopy</i> (FTIR).....	12
2.10.2 <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD)	12
2.10.3 <i>High performance Liquid Chromatography</i> (HPLC).....	14
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	15
3.1 Waktu dan Tempat.....	15
3.2 Alat dan Bahan	15

3.3	Prosedur.....	15
3.3.1	Preparasi dan Maserasi TKKS	15
3.3.2	Proses <i>Pretreatment dengan Asam Format</i>	16
3.3.3	Analisis Komponen	17
3.3.4	Penentuan Kadar Abu.....	17
3.3.5	Penentuan Kadar Selulosa dan Hemiselulosa	17
3.3.6	Penentuan Kadar lignin tidak terlarut.....	18
3.3.7	Sakarifikasi/Hidrolisis Enzimatik.....	19
3.3.8	Penentuan Kristalinitas menggunakan XRD	19
BAB IV	HASIL DAN PEMBAHASAN.....	20
4.1	Pengaruh Proses Delignifikasi Menggunakan Asam Format dan Natrium Hidroksida.....	20
4.2	Indeks Kristalinitas Selulosa Setelah Delignifikasi dan Sebelum Delignifikasi	28
4.3	Analisis Spektrum FTIR Sebelum dan Sesudah Delignifikasi.....	30
4.4	Pengukuran Hasil Sakarifikasi	31
BAB V	KESIMPULAN DAN SARAN	33
5.1	Kesimpulan.....	33
5.2	Saran	33
LAMPIRAN		39

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Tandan Kosong Kelapa Sawit	6
Gambar 2. Struktur kimia dari selulosa.....	8
Gambar 3. Grafik normalitas terhadap residual	22
Gambar 4. Grafik residual terhadap nilai prediksi	23
Gambar 5. <i>3D- Surface</i> ANOVA.....	24
Gambar 6. Difraktogram XRD.....	26
Gambar 7. Grafik Analisa FTIR.....	27

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Desain eksperimental optimasi delignifikasi dengan CCD-RSM.....	13
Tabel 2. Respon desain eksperimental optimasi delignifikasi menggunakan pelarut asam format dengan CCD-RSM	19
Tabel 3. Perbandingan kadar komposisi pada TKKS.....	20
Tabel 4. Perbandingan komposisi TKKS dengan penelitian sebelumnya.....	20
Tabel 5. Hasil Uji ANOVA pada Model Prediksi Residual Lignin	21
Tabel 6. Koefisien dalam Bentuk Faktor.....	22
Tabel 7. Hasil Gula saat proses sakarifikasi.....	30

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Rancangan Penelitian Flowchart	40
Lampiran 2. Perhitungan Analisa Komponen	42
Lampiran 3. Perhitungan Indeks Kristalinitas TKKS raw dan delignifikasi	47
Lampiran 4. Perhitungan pengenceran larutan asam format.....	48
Lampiran 5. Hasil analisis residual lignin pada optimasi delignifikasi	49
Lampiran 6. Hasil Analisis Kadar Gula Sakarifikasi TKKS.....	50
Lampiran 7. Hasil analisis XRD	51
Lampiran 8. Hasil analisis FTIR	52
Lampiran 9. Hasil Analisa HPLC.....	53
Lampiran 10.Dokumentasi penelitian	54

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Indonesia merupakan produsen utama kelapa sawit dunia, dengan produksi mencapai 46,2 juta ton (Aulia *et al.*, 2024). Proses pengolahan kelapa sawit menghasilkan limbah padat signifikan, terutama tandan kosong kelapa sawit (TKKS), yang mencapai 23% dari berat tandan buah segar, dan TKKS termasuk sebagai kategori biomassa tersier (Aulia *et al.*, 2024). Dalam beberapa tahun terakhir, Indonesia telah berhasil mendorong perluasan tanaman tersebut ke lokasi yang lebih terpencil di Pulau Kalimantan (Borneo), Sulawesi, dan Papua (Prasetyo *et al.*, 2024).

Biomassa telah menjadi sumber energi terbesar di dunia untuk aplikasi energi terbarukan (Perea-Moreno *et al.*, 2019). Penggunaan bahan bakar fosil yang terus menerus dapat mengakibatkan meningkatnya kekhawatiran masyarakat atas dampak buruknya yaitu perubahan iklim, pemanasan global atau *global warming*, dan dampaknya terhadap kesehatan manusia (Tursi, 2019). TKKS merupakan limbah yang dihasilkan dari industri kelapa sawit, yang umumnya dibuang atau digunakan sebagai bahan bakar dalam proses produksi di pabrik. Meskipun demikian, TKKS memiliki potensi besar sebagai bahan baku dalam produksi berbagai produk bernilai tambah, salah satunya gula pereduksi yang dapat dimanfaatkan dalam industri energi terbarukan (Maryana *et al.*, 2024). Oleh karena itu perlu dilakukan penelitian lebih lanjut tentang jenis energi lain salah satunya bioenergi. Modernisasi sistem produksi bioenergi diperlukan agar biomassa dapat secara optimal diterapkan sebagai bahan baku.

Gula pereduksi merupakan salah satu material utama dalam produksi bioenergi yang dapat diproduksi dari biomassa, seperti pati, gula, lignoselulosa, dan tandan kosong kelapa sawit. Secara kimia gula pereduksi termasuk sebagai golongan senyawa karbohidrat yang dapat mereduksi senyawa-senyawa penerima elektron.

Kandungan selulosa yang terdapat pada TKKS inilah yang akan digunakan sebagai bahan baku pembuatan gula pereduksi melalui proses hidrolisis. Tingginya kandungan lignin dalam TKKS sehingga dapat menghambat proses hidrolisis enzimatis selulosa karena lignin membentuk struktur kompleks yang sulit dipecah oleh enzim selulase (Goh *et al.*, 2018). Dengan demikian perlu dilakukan proses delignifikasi dengan tujuan untuk mengurangi kadar lignin dalam lignoselulosa dan meningkatkan kadar selulosa (Hernawan *et al.*, 2017). Pasca proses delignifikasi, selulosa pada TKKS akan dihidrolisis melalui tahap sakarifikasi, sehingga menghasilkan gula pereduksi. Pada penelitian kali ini menggunakan metode delignifikasi kimia yang menggunakan bahan asam format dan natrium hidroksida untuk melarutkan lignin secara lebih efisien (Agustini dan Efianti 2015)

Penelitian yang dilakukan oleh (Aji *et al.*, 2024) dalam jurnal *Biomass Conversion and Biorefinery* menggunakan metode *steam explosion* alkali dengan NaOH untuk meningkatkan efisiensi delignifikasi dan konversi gula dari TKKS. Hasil penelitian yang dilakukan membuktikan bahwa perlakuan dengan NaOH mampu meningkatkan kandungan selulosa hingga 77,13% dari total biomassa setelah proses *pretreatment*. Selain itu, kadar lignin berkurang dari 35,93% menjadi 9,21% setelah proses *steam explosion* menggunakan NaOH. Proses ini juga menghasilkan pulp dengan tingkat kristalinitas yang tinggi dan efisiensi sakarifikasi yang lebih baik, terutama ketika menggunakan enzim Cellic® Ctec3, sehingga menghasilkan gula pereduksi sebanyak 12,85%.

Sebagai perbandingan, dalam penelitian ini akan dilakukan studi efektivitas delignifikasi TKKS dengan metode yang berbeda, yaitu menggunakan asam format sebagai agen delignifikasi. Penggunaan asam format dipilih karena sifatnya yang lebih ramah lingkungan dibandingkan dengan natrium hidroksida serta kemampuannya dalam melarutkan lignin tanpa merusak struktur selulosa.

1.2. Rumusan Masalah

1. Bagaimana efektivitas penggunaan asam format sebagai pelarut pada proses impregnasi dan delignifikasi tandan kosong kelapa sawit untuk produksi gula pereduksi dibandingkan dengan NaOH ?
2. Bagaimana pengaruh jenis pelarut, suhu *pretreatment*, waktu maserasi, dan konsentrasi pelarut terhadap residual lignin yang tersisa?
3. Apa saja keunggulan dan keterbatasan penggunaan asam format dibandingkan dengan NaOH dalam proses *pretreatment* tandan kosong kelapa sawit?

1.3 Tujuan Penelitian

1. Mengkaji efektivitas asam format sebagai pelarut dalam proses delignifikasi tandan kosong kelapa sawit untuk produksi gula pereduksi
2. Membandingkan hasil degradasi lignin, serta kandungan selulosa dan hemiselulosa antara proses *pretreatment* menggunakan asam format dengan NaOH.
3. Menentukan pengaruh penggunaan asam format dan NaOH pada parameter yang berbeda terhadap persentase gula pereduksi yang dihasilkan.

1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi ilmiah dalam pengembangan teknologi pemanfaatan limbah biomassa, khususnya tandan kosong kelapa sawit (TKKS), sebagai bahan baku produksi gula pereduksi. Dengan mengkaji efektivitas asam format sebagai agen delignifikasi yang lebih ramah lingkungan dibandingkan natrium hidroksida, penelitian ini membuka peluang pemanfaatan metode *pretreatment* alternatif yang efisien, murah, dan berkelanjutan.

DAFTAR PUSTAKA

- Adna Ridhani, M., & Aini, N. (2021). Potensi Penambahan Berbagai Jenis Gula Terhadap Sifat Sensori Dan Fisikokimia Roti Manis: Review. *Pasundan Food Technology Journal*, 8(3), 61–68.
- Afriza, R., & Nilda, I. (2019). Analisis Perbedaan Kadar Gula Pereduksi Dengan Metode Lane Eynon Dan Luff Schoorl Pada Buah Naga Merah (*Hylocereus Polyrhizus*). *Jurnal Temapela*, 2(2), 90–96.
- Agustini, L., & Efiyanti, L. (2015). Selulosa dan Produksi Etanol Dari Limbah (The Effects of Delignification Treatments on Cellulose Hydrolysis and Ethanol Production from Lignocellulosic Wastes). *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, 33(1), 69–80.
- Aji, E. T., Hasanudin, H., Das, A. K., & Maryana, R. (2024). Efficient integrated production of bioethanol and lignin from oil palm empty fruit bunch biomass using chemical steam explosion method. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 0123456789.
- Ali, A., Chiang, Y. W., & Santos, R. M. (2022). X-Ray Diffraction Techniques for Mineral Characterization: A Review for Engineers of the Fundamentals, Applications, and Research Directions. *Minerals*, 12(2).
- Anindyawati, T. (2010). Potensi Selulase Dalam Mendegradasi Lignoselulosa Limbah Pertanian Untuk Pupuk Organik Cellulase Potency in Degradation of Agricultural Waste for Organic Fertilizer. *Jurnal Berita Selulosa*, 45(2), 70–77.
- Arifin, Z., Gunam, I. B. W., Antara, N. S., & Setiyo, Y. (2019). Isolasi Bakteri Selulolitik Pendegradasi Selulosa Dari Kompos. *Jurnal Rekayasa Dan Manajemen Agroindustri*, 7(1), 30.
- Aulia, W. D., Permana, A. T., Dimawarnita, F., Aulia, W. D., Permana, A. T., Dimawarnita, F., & Faramitha, Y. (2024). Delignifikasi Tandan Kosong Kelapa Sawit (Tkks) Dengan Naoh Terhadap Kualitas Pupuk Organik Cair. *Jurnal Teknologi Industri Pertanian*, 34(1), 47–54.
- Budi Ariyani, S., Rusdi Hidayat, M., Ratihwulan, H., & Sri Mulyono, A. (2020). Optimasi Proses Ekstraksi Asam Ferulat Secara Alkali Dari Serat Mesokarp Sawit Menggunakan Metode Permukaan Respon Optimization of Ferulic Acid Alkaline Extraction Process from Palm Mesocarp Fiber usi. 1–11.
- Chantarangsi, W., Liu, W., Bretz, F., Kiatsupaibul, S., & Hayter, A. J. (2018). Normal probability plots with confidence for the residuals in linear regression. *Communications in Statistics - Simulation and Computation*, 47(2), 367–379.
- D. Muley, P., & Boldor, D. (2017). *Advances in Biomass Pretreatment and Cellulosic Bioethanol Production Using Microwave Heating*. June, 173–180.
- Darojati, H. A. (2017). Prospek Pengembangan Teknologi Radiasi Sebagai Perlakuan Pendahuluan Biomassa Lignoselulosa. *Jurnal Forum Nuklir*,

- Ermrich, M., & Opper, D. (2013). *X-RAY POWDER DIFFRACTION: XRD for the analyst X-RAY POWDER DIFFRACTION XRD for the analyst*.
- Faturachman, G. F., Ramanda, A. A., Maharani, S., Latif, A., Arthurito, G., Belo, G., Grafi, S., & Ayubi, A. (2025). *Application of Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) for Quantitative Analysis of Pharmaceutical Compounds*. 5(1), 27–33.
- Fitri, A. S., & Fitriana, Y. A. N. (2020). Analisis Senyawa Kimia pada Karbohidrat. *Sainteks*, 17(1), 45.
- Gunam, I. B. W., Wartini, N. M., Anggreini, A. A. M. D., & Suparyana, P. M. (2011). Sebelum Proses Sakarifikasi Secara Enzimatis Menggunakan. *Teknologi*, 34(January), 1–9.
- Gunawan, C., Asben, A., Anggraini, T., & Amanda Septevani, A. (2021). Produksi dan karakterisasi selulosa mikrokristalin dari limbah batang kelapa sawit (*Elaeis Guineensis* Jacq.) hasil replanting perkebunan. *Jurnal Penelitian Kelapa Sawit*, 29(3), 137–146.
- Guo, H., Chang, Y., & Lee, D.-J. (2018). Enzymatic saccharification of lignocellulosic biorefinery: Research focuses. *Bioresource Technology*, 252, 198–215.
- Hamelinck, C. N., Van Hooijdonk, G., & Faaij, A. P. C. (2005). Ethanol from lignocellulosic biomass: Techno-economic performance in short-, middle- and long-term. *Biomass and Bioenergy*, 28(4), 384–410.
- Harahap, F. S., Walida, H., Rahmaniah, R., Rauf, A., Hasibuan, R., & Nasution, A. P. (2020). Pengaruh Aplikasi Tandan Kosong Kelapa Sawit dan Arang Sekam Padi terhadap beberapa Sifat Kimia Tanah pada Tomat. *Agrotechnology Research Journal*, 4(1), 1–5.
- Hermiati, E., Mangunwidjaja, D., Candra Sunarti, T., & Suparno, O. (2016). Pemanfaatan Biomassa Lignoselulosa Ampas Tebu Untuk Produksi Bioetanol and Higher Education) View project. *Technology*, 29 January 2015, 121–130.
- Hernawan, H., Maryana, R., Pratiwi, D., Wahono, S. K., Darsih, C., Hayati, S. N., Poeloengasih, C. D., Nisa, K., Indrianingsih, A. W., Prasetyo, D. J., Jatmiko, T. H., Kismurtono, M., & Rosyida, V. T. (2017). Bioethanol production from sugarcane bagasse by simultaneous saccharification and fermentation using *Saccharomyces cerevisiae*. *AIP Conference Proceedings*, 1823(February 2018).
- Hidayah, H., Mudrikah, S., Amelia, T., Studi Farmasi, P., & Buana Perjuangan Karawang Abstract, U. (2024). Perbandingan Metode Analisis Instrumen HPLC dan Spektrofotometer UV-VIS. *Jurnal Ilmiah Wahana Pendidikan*, 10(13), 377–386.
- Hidayani, T. R., Pelita, E., Nirmala, D., Biji, P., Dengan, D., Maleat, P., Sebagai, A., & Pengikat, A. (2017). Pembuatan Dan Karakterisasi Plastik Biodegradable Pengikat Silang. *Jurnal Kimia Dan Kemasan*, 39(1), 17–24.

- Khairiah, H., & Ridwan, M. (2021). Pengembangan Proses Pembuatan Bioetanol Generasi Ii Dari Limbah Tandan Kosong Kelapa Sawit. *Jurnal Pangan Dan Agroindustri*, 9(4), 233–240.
- Kheyrodin, H. (2017). Difference between monosaccharides disaccharides and polysaccharides. *Pediaa.Com*, 14(7), 1–5. <https://pediaa.com/difference-between-monosaccharides-disaccharides-and-polysaccharides/>
- Kucharska, K., Ślupek, E., Cieśliński, H., & Kamiński, M. (2020). Advantageous conditions of saccharification of lignocellulosic biomass for biofuels generation via fermentation processes. *Chemical Papers*, 74(4), 1199–1209.
- Mao, G., Zou, H., Chen, G., Du, H., & Zuo, J. (2015). Past, current and future of biomass energy research: A bibliometric analysis. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 52, 1823–1833.
- 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).
- Maryana, R., Bardant, T. B., Ihsan, D. M., Das, A. K., Irawan, Y., Rizal, W. A., Triwahyuni, E., Muryanto, Utami, A. R. I., & Sudiyani, Y. (2024). Reducing sugars and bioethanol production from oil palm empty fruit bunch by applying a batch and continuous pretreatment process with low temperature and pressure. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 14(10), 11155–11164.
- Nahor, E. M., Rumagit, B. I., & Tou, H. Y. (2020). Perbandingan Rendemen Ekstrak Etanol Daun Andong (*Cordyline futicosa* L.) Menggunakan Metode Ekstraksi Maserasi dan Sokhletasi. *Seminar Nasional Tahun 2020*, 40–44.
- Panić, V. V., Šešlija, S. I., Nešić, A. R., & Veličković, S. J. (2013). Adsorpcija azo boja na polimernim materijalima. *Hemijska Industrija*, 67(6), 881–900.
- 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*. Elsevier Inc.
- Perea-Moreno, M. A., Samerón-Manzano, E., & Perea-Moreno, A. J. (2019). Biomass as renewable energy: Worldwide research trends. *Sustainability (Switzerland)*, 11(3).
- Pérez, J., Muñoz-Dorado, J., de la Rubia, T., & Martínez, J. (2002). Biodegradation and biological treatments of cellulose, hemicellulose and lignin: an overview. *International Microbiology: The Official Journal of the Spanish Society for Microbiology*, 5(2), 53–63.
- 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.

- Prasetyo, J., Dahnum, D., Murti, G. W., Sugiarto, A. T., Maryana, R., & Machsun, A. L. (2024). Delignification of Palm Oil Empty Fruit Bunch by ozonization and its physicochemical effect. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 14(13), 13721–13730.
- Prihatini, E., & Ismail, R. (2023). Modifikasi Proses Pemanasan dalam Metode Maserasi untuk Analisis Serat Kayu. *Indonesian Journal of Laboratory*, 1(2), 70.
- Ramirez Brenes, R. G., Alhadeff, E. M., Bojorge, N., Trales, L. E. M., & Pazos, G. A. D. (2023). BTX production by breaking down lignin: Current status and future prospects. *Biofuels, Bioproducts and Biorefining*, 17(3), 664–681.
- Rasheed, M., Jawaid, M., Karim, Z., & Abdullah, L. C. (2020). Morphological, Physiochemical and Thermal Properties of Microcrystalline Cellulose (MCC) Extracted from Bamboo Fiber. *Molecules*, 25(12).
- Sari, F. P., Solihat, N. N., Anita, S. H., Fitria, F., & Hermiati, E. (2017). Peningkatan Produksi Gula Pereduksi dari Tandan Kosong Kelapa Sawit dengan Praperlakuan Asam Organik pada Reaktor Bertekanan. *Reaktor*, 16(4), 199.
- Setiati, R., Wahyuningrum, D., Kasmungin, S., Perminyakan, J. T., Universitas, F., Mahasiswa, S., & Perminyakan, T. (2016). Analisa Spektrum Infra Red Pada Proses Sintesa Lignin Ampas Tebu Menjadi Surfaktan Lignosulfonat. *Seminar Nasional Cendekiawan*, 1–11.
- Siswanto, A., Fudholi, A., Nugroho, A. K., & Martono, S. (2016). Validasi Metode HPLC untuk Penetapan Aspirin dan Asam Salisilat dalam Plasma Kelinci (*Lepus curpaeums*) secara Simultan Validation of A High Performance Liquid Chromatography Method for The Simultaneous Determination of Aspirin and Salisylic Acid In Rabb. *Jurnal Kefarmasian Indonesia*, 6, 68–78.
- Sukhang, S., Choojit, S., Reungpeerakul, T., & Sangwichien, C. (2020). Bioethanol production from oil palm empty fruit bunch with SSF and SHF processes using *Kluyveromyces marxianus* yeast. *Cellulose*, 27(1), 301–314.
- Susi, S., Ainuri, M., Wagiman, W., & Falah, M. A. F. (2022). Effect of delignification and bleaching stages on cellulose purity of oil palm empty fruit bunches. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1116(1).
- Tursi, A. (2019). A review on biomass: Importance, chemistry, classification, and conversion. *Biofuel Research Journal*, 6(2), 962–979.
- Vassilev, S. V., Baxter, D., Andersen, L. K., Vassileva, C. G., & Morgan, T. J. (2012). An overview of the organic and inorganic phase composition of biomass. *Fuel*, 94, 1–33.
- Wardani, A. P. K., & Widiawati, D. (2014). Pemanfaatan Tandan Kosong Kelapa Sawit Sebagai Material Tekstil dengan Pewarna Alam untuk Produk Kriya. *Jurnal Tingkat Sarjana Bidang Senirupa Dan Desain*, 3(1), 1–10.
- Yao, T., Ma, M., & Sui, Z. (2023). Structure and Function of Polysaccharides and

Oligosaccharides in Foods. *Foods*, 12(20), 10–12.