

**DELIGNIFIKASI TANAMAN KELAKAI (*Stenochlaena palustris*) DARI
LAHAN BASAH DALAM PRODUKSI *BIO-OIL*: KARAKTERISTIK
FISIKA - KIMIA DAN STUDI KINETIKA DEKOMPOSISINYA**

KHAIRUNNISA APRILIANTI

NIM. 2420834320001



**PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK KIMIA
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMBUNG MANGKURAT
BANJARBARU**

2026

**DELIGNIFIKASI TANAMAN KELAKAI (*Stenochlaena palustris*) DARI
LAHAN BASAH DALAM PRODUKSI *BIO-OIL*: KARAKTERISTIK
FISIKA - KIMIA DAN STUDI KINETIKA DEKOMPOSISINYA**

**KHAIRUNNISA APRILIANTI
2420834320001**

TESIS

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar

MAGISTER TEKNIK

Program Studi S-2 Teknik Kimia

**PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK KIMIA
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMBUNG MANGKURAT
BANJARBARU**

2026

LEMBAR PENGESAHAN
TESIS PROGRAM STUDI S-2 TEKNIK KIMIA

**DELIGNIFIKASI KELAKAI (*Stenochlaena palustris*) KHAS LAHAN BASAH
DALAM PRODUKSI *BIO-OIL*: KARAKTERISTIK FISIKA - KIMIA DAN
STUDI KINETIKA**

Oleh:

Khairunnisa Aprilianti (2420834320001)

Telah dipertahankan di depan Tim Penguji pada 9 Juli 2026 dan dinyatakan
LULUS

Komite Penguji

Ketua	: Dr. Ir. Doni Rahmat Wicakso, S.T., M.Eng., IPM., ASEAN Eng.	
	NIP. 19810112 200312 1 001	
Anggota 1	: Dr. Ir. Isna Syauqiah, S.T., M.T., IPP.	
	NIP. 19690608 199702 2 002	
Anggota 2	: Prof. Dr. Ir. Agus Mirwan, S.T., M.T., IPM., ASEAN Eng.	
	NIP. 19760819 200312 1 001	
Pembimbing Utama	: Ir. Hesti Wijayanti, ST., M. Eng., Ph.D., IPM.	
	NIP. 19800529 200501 2 003	
Pembimbing	: Prof. Ir. Iryanti Faryasari Nata, ST., M.T., Ph.D., IPM., ASEAN Eng.	
Pendamping	NIP. 19751013 200003 2 003	

Banjarbaru, 14 Juli 2026

diketahui dan disahkan oleh:

Wakil Dekan Bidang Akademik
Fakultas Teknik ULM



.....
S.T., M.T.
NIP. 1998021001

Koordinator Program Studi S-2 Teknik Kimia

Prof. Ir. Chairul Irawan, ST., MT., Ph.D.,
IPM. ASEAN Eng.
NIP. 19750404 200003 1 002

LEMBAR PENGESAHAN

LAPORAN TESIS

DELIGNIFIKASI KELAKAI (*Stenochlaena palustris*) KHAS LAHAN BASAH
DALAM PRODUKSI *BIO-OIL*: KARAKTERISTIK FISIKA - KIMIA DAN
STUDI KINETIKA

Oleh:

KHAIRUNNISA APRILIANTI (2420834320001)

Telah disetujui untuk diseminarkan di Program Studi Magister Teknik Kimia
Universitas Lambung Mangkurat

Banjarbaru, 20 Juni 2026

Pembimbing Utama



Ir. Hesti Wijayanti, S.T., M.Eng., Ph.D., IPM
NIP. 19800529 200501 2 003

Pembimbing Pendamping



Prof. Ir. Iryanti Fatyasari Nata, S.T.,
M.T., Ph.D., IPM., ASEAN Eng.
NIP.19751013 200003 2 003

PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Khairunnisa Aprilianti
NIM : 2420834320001
Program Studi : Magister Teknik Kimia
Fakultas : Teknik
Perguruan Tinggi : Universitas Lambung Mangkurat
Judul Tesis : **“Delignifikasi Tanaman Kelakai (*Stenochlaena palustris*) dari Lahan Basah dalam Produksi *Bio-oil*: Karakteristik Fisika-Kimia dan Studi Kinetika Dekomposisinya”.**

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa Tesis yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri, bukan merupakan pengambil alihan tulisan atau pikiran orang lain yang saya akui sebagai tulisan atau pikiran saya sendiri, kecuali dicantumkan sebagai kutipan/acuan dalam naskah dengan disebutkan sumber kutipan/acuan dan dicantumkan dalam daftar pustaka.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan tesis/disertasi ini hasil jiplakan, plagiat maupun manipulasi, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Demikian pernyataan ini saya buat dalam keadaan sehat dan tanpa paksaan dari siapapun.

Banjarbaru, 13 Juli 2026
Yang membuat pernyataan

Khairunnisa Aprilianti
NIM. 2420834320001

RINGKASAN

Khairunnisa Aprilianti. 2026. Delignifikasi Kelakai (*Stenochlaena palustris*) Khas Lahan Basah dalam Produksi *Bio-Oil*: Karakteristik Fisika-Kimia dan Studi Kinetika. Pembimbing: Ir. Hesti Wijayanti, ST., M. Eng., Ph.D., IPM; Prof. Ir. Iryanti Fatyasari Nata, ST., MT., Ph.D., IPM., ASEAN Eng.

Pemanfaatan biomassa kelakai (*Stenochlaena palustris*) sebagai bahan baku *bio-oil* masih terbatas, khususnya terkait pretreatment delignifikasi untuk meningkatkan hasil pirolisis. Hal ini disebabkan oleh kandungan lignin pada kelakai yang mencapai 32,11%, yang menghambat degradasi termal akibat sifatnya yang kompleks dan sulit terurai, sehingga menghambat pembentukan senyawa volatil pembentuk *bio-oil*. Oleh karena itu, proses delignifikasi dilakukan untuk mengurangi kandungan lignin, meningkatkan kandungan selulosa, serta memperbaiki reaktivitas termal biomassa selama pirolisis. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh delignifikasi menggunakan larutan NaOH terhadap karakteristik fisika-kimia biomassa kelakai (*Stenochlaena palustris*) khas lahan basah serta parameter kinetika pirolisis guna meningkatkan kuantitas dan kualitas *bio-oil*.

Delignifikasi dilakukan menggunakan larutan NaOH dengan variasi konsentrasi 5%, 10%, dan 15% pada kondisi tanpa pemanasan, suhu 80 °C, dan 100 °C. Karakteristik fisika-kimia biomassa dianalisis melalui komposisi lignoselulosa, analisis proksimat, *X-Ray Fluorescence* (XRF), *Scanning Electron Microscopy* (SEM), *X-Ray Diffraction* (XRD), dan *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR). Perilaku degradasi termal dievaluasi menggunakan Thermogravimetric Analysis (TGA), sedangkan parameter kinetika dianalisis menggunakan metode *Coats-Redfern* orde satu berdasarkan data TGA. Selanjutnya, *bio-oil* hasil pirolisis dikarakterisasi menggunakan *Gas Chromatography-Mass Spectrometry* (GC-MS).

Hasil penelitian menunjukkan bahwa delignifikasi NaOH sangat efektif dalam mengubah komposisi lignoselulosa kelakai. Kadar lignin mengalami penurunan dari 32,11% pada kelakai murni menjadi 5,18% pada konsentrasi NaOH 15%, sedangkan kandungan selulosa dari 27,93% menjadi 64,15% pada variasi yang sama. Analisis proksimat menunjukkan perlakuan NaOH 5% menghasilkan kadar abu terendah sebesar 1,13%, *volatile matter* tertinggi sebesar 82,66% yang meningkat dari kelakai murni sebesar 73,43%, serta menurunkan *fixed carbon* dari 7,16% menjadi 3,12%, yang menunjukkan peningkatan potensi pembentukan senyawa volatil selama pirolisis. Analisis morfologi melalui SEM menunjukkan perubahan struktur setelah delignifikasi. Struktur permukaan menjadi lebih kasar dan berpori pada konsentrasi NaOH 5%, mengindikasikan hilangnya komponen lignin. Di sisi lain, terjadi kerusakan struktur berupa fragmentasi dan pengelupasan struktur serat yang membuat struktur rapuh pada konsentrasi tinggi (NaOH 10 dan 15%) sehingga menurunkan stabilitas termal. Analisis XRD menunjukkan peningkatan indeks kristalinitas (*Crystallinity Index*) dari 21,4% (kelakai murni) hingga mencapai puncaknya sebesar 79-80% pada sampel delignifikasi akibat penghilangan komponen *amorf*. Analisis gugus fungsi melalui FTIR menunjukkan penurunan intensitas puncak pada bilangan gelombang sekitar 1592 cm⁻¹

menunjukkan vibrasi gugus aromatik C=C dari lignin,, sementara peningkatan kandungan selulosa setelah delignifikasi ditunjukkan oleh *peak* pada sekitar 1026 cm^{-1} yang merupakan vibrasi C-O dan C-H pada struktur selulosa. Analisis termogravimetri (TG dan DTG) menunjukkan bahwa delignifikasi meningkatkan stabilitas termal biomassa dengan menggeser suhu degradasi awal (*onset temperature*) dari 179,26°C pada kelakai murni menjadi 249,37°C pada sampel KD5 akibat hilangnya fraksi volatil yang tidak stabil. Total dekomposisi massa pada suhu akhir meningkat dari 75,97% (kelakai murni) menjadi 93,50% pada NaOH 15%, yang secara linier menurunkan sisa residu arang (*char*) dari 24,23% menjadi 6,35%. Evaluasi kinetika menunjukkan peningkatan nilai energi aktivasi (E_a) dari 20,42 kJ/mol dengan faktor pra-eksponensial (A) sebesar 1,52 1/s pada kelakai murni, kemudian meningkat sebesar 48,51 kJ/mol dan faktor pra-eksponensial (A) sebesar 2,46 1/s pada sampel NaOH 5%, sebelum kembali menurun pada konsentrasi alkali yang lebih tinggi (NaOH 10 dan 15%) karena adanya perubahan struktur selulosa. Kenaikan parameter kinetika ini sejalan dengan hasil pirolisis pada suhu 550 °C, di mana variasi NaOH 5% terbukti menghasilkan *yield bio-oil* tertinggi dan paling optimal mencapai 58,85%, atau mengalami peningkatan sebesar 58,63% dibandingkan dengan kelakai murni yang hanya menghasilkan *yield bio-oil* sebesar 37,10%. Profil GC-MS menunjukkan modifikasi distribusi senyawa yang ditandai dengan peningkatan *relative peak area* senyawa hidrokarbon aromatik dan furan, serta penurunan senyawa fenol dan turunannya setelah delignifikasi NaOH 5%. *Pretreatment* kelakai dengan delignifikasi larutan NaOH 5% pada suhu 80 °C merupakan kondisi optimal dalam menghasilkan karakteristik biomassa yang mendukung proses pirolisis untuk meningkatkan produksi *bio-oil*.

Kata kunci: kelakai, delignifikasi, kinetika, pirolisis, *bio-oil*.

SUMMARY

Khairunnisa Aprilianti. 2026. Delignification of Kelakai (*Stenochlaena palustris*), a Typical Wetland Biomass, for Bio-Oil Production: Physicochemical Characterization and Kinetic Study. Advisors: Ir. Hesti Wijayanti, S.T., M.Eng., Ph.D., IPM.; Prof. Ir. Iryanti Fatyasari Nata, S.T., M.T., Ph.D., IPM., ASEAN Eng.

The utilization of kelakai biomass (*Stenochlaena palustris*) as a feedstock for bio-oil production remains limited, particularly regarding delignification pretreatment to improve pyrolysis performance. This limitation is attributed to the relatively high lignin content of kelakai (32.11%), which inhibits thermal degradation due to its complex and recalcitrant structure, thereby reducing the formation of volatile compounds that contribute to bio-oil production. Therefore, delignification was carried out to reduce lignin content, increase cellulose content, and enhance the thermal reactivity of biomass during pyrolysis. This study aimed to investigate the effect of NaOH delignification on the physicochemical characteristics of kelakai (*Stenochlaena palustris*), a native wetland biomass, and on pyrolysis kinetic parameters to improve the quantity and quality of bio-oil.

Delignification was carried out using NaOH solutions at concentrations of 5%, 10%, and 15% under unheated conditions, 80°C, and 100°C. The physicochemical characteristics of the biomass were evaluated through lignocellulosic composition analysis, proximate analysis, X-Ray Fluorescence (XRF), Scanning Electron Microscopy (SEM), X-ray Diffraction (XRD), and Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR). Thermal degradation behavior was examined using Thermogravimetric Analysis (TGA), while kinetic parameters were determined using the first-order Coats–Redfern method based on TGA data. Pyrolysis experiments were subsequently performed to evaluate bio-oil yield and composition using Gas Chromatography–Mass Spectrometry (GC–MS).

The results demonstrated that NaOH delignification was highly effective in modifying the lignocellulosic composition of kelakai biomass. Lignin content decreased significantly from 32.11% in raw kelaaki to 5.18% at 15% NaOH concentration, while significantly from 32.11% in raw kelakai to 5.18% at 15% NaOH concentration, while cellulose content increased from 27.93% to 64.15% under the same treatment. Proximate analysis showed that treatment with 5% NaOH produced the lowest ash content (1.13%), the highest volatile matter content (82.66%), representing an increase from 73.43% in raw kelakai, and reduced fixed carbon content from 7.16% to 3.12%, indicating an enhanced potential for volatile compound formation during pyrolysis. Morphological analysis using SEM revealed structural changes following delignification. The biomass surface became rougher and more porous at 5% NaOH concentration, indicating lignin removal. However, severe structural damage, including fiber fragmentation and peeling, was observed at higher NaOH concentrations (10% and 15%), resulting in a more fragile structure and reduced thermal stability. XRD analysis showed a significant increase in the Crystallinity Index (CrI), from 21.4% in raw kelakai to approximately 79-80% in delignified samples due to the removal of amorphous components. FTIR analysis indicated a decrease in the absorption intensity around 1592 cm⁻¹, corresponding to

aromatic C=C vibrations associated with lignin, while the increased cellulose content was evidenced by a stronger peak around 1026 cm^{-1} , attributed to C–O and C–H vibrations in the cellulose structure. Thermogravimetric (TG and DTG) analyses revealed that delignification enhanced the thermal stability of kelakai biomass by shifting the onset degradation temperature from 179.26°C in raw kelakai to 249.37°C in the KD5 sample due to the removal of unstable volatile fractions. The total mass decomposition at the final temperature increased from 75.97% in raw kelakai to 93.50% in the 15% NaOH-treated sample, resulting in a corresponding decrease in char residue from 24.23% to 6.35%. Kinetic evaluation showed that the activation energy (E_a) increased from 20.42 kJ/mol with a pre-exponential factor (A) of 1.52 s^{-1} for raw kelakai to 48.51 kJ/mol with a pre-exponential factor of 2.46 s^{-1} for the 5% NaOH-treated sample, before decreasing at higher alkali concentrations (10% and 15%) due to alterations in cellulose structure. This increase in kinetic parameters was consistent with pyrolysis results at 550°C , where the 5% NaOH treatment produced the highest and most optimal bio-oil yield of 58.85%, representing a 58.63% increase compared to raw kelakai, which yielded only 37.10% bio-oil. GC–MS analysis revealed changes in compound distribution characterized by increased relative peak areas of aromatic hydrocarbons and furans, along with reduced phenolic compounds and their derivatives following 5% NaOH delignification. Therefore, pretreatment of kelakai using 5% NaOH delignification at 80°C was determined to be the optimal condition for enhancing biomass characteristics that are favorable for the pyrolysis process and enhances bio-oil production.

Keywords: kelakai, delignification, kinetics, pyrolysis, bio-oil.

RIWAYAT HIDUP PENULIS

Khairunnisa Aprilianti lahir di Barabai, 23 April 2001, dari pasangan Mundiar Maulidi dan Erina Diaty, dan merupakan anak pertama dari 4 bersaudara. Jenjang pendidikan dasar dan menengah penulis ditempuh di SDN Kandangan Kota 1 (2007-2013) dan SMP Negeri 1 Kandangan (2013-2016). Pendidikan tingkat atas penulis ditempuh di SMAN 1 Kandangan (2016-2019), kemudian melanjutkan pendidikan sarjana di Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Lambung Mangkurat (Tahun 2019-2023). Setelah menyelesaikan pendidikan sarjana, pada tahun 2024 penulis melanjutkan pendidikan Magister (S2) pada Program Studi Teknik Kimia, Universitas Lambung Mangkurat. Penelitian yang dilakukan penulis berfokus pada pemanfaatan biomassa lahan basah sebagai sumber energi terbarukan dan pengembangan teknologi konversi biomassa.

KHAIRUNNISA APRILIANI

PRAKARTA

Puji syukur ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa yang telah melimpahkan rahmat dan karunia-Nya, sehingga dapat menyelesaikan laporan tesis yang berjudul **“Delignifikasi Tanaman Kelakai (*Stenochlaena palustris*) dari Lahan Basah dalam Produksi *Bio-oil*: Karakteristik Fisika-Kimia dan Studi Kinetika Dekomposisinya”**. Tesis ini ditulis dalam rangka memenuhi salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar Magister Teknik di Universitas Lambung Mangkurat. Penulis menyadari bahwa tesis ini dapat diselesaikan berkat dukungan dan bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis berterimakasih kepada semua pihak yang secara langsung maupun tidak langsung memberikan kontribusi dalam penyelesaian tesis ini. Secara khusus pada kesempatan ini penulis menyampaikan terimakasih kepada:

1. Ibu Ir. Hesti Wijayanti, S.T., M.Eng., Ph.D selaku Dosen Pembimbing Utama dan Ibu Prof. Ir. Iryanti Fatyasari Nata, S.T., M.T., Ph.D selaku dosen pembimbing kedua yang telah membantu dalam proses penyelesaian tesis ini.
2. Bapak Dr. Ir. Doni Rahmat Wicakso, S.T., M.Eng, Ibu Dr. Ir. Isna Syauqiah, S.T., M.T., Bapak Prof. Dr. Ir. Agus Mirwan, S.T., M.T, selaku dosen penguji yang telah memberikan saran dan masukan dalam penulisan tesis ini.
3. Seluruh dosen pengajar di Program Studi Magister Teknik Kimia yang telah memberikan ilmu pengetahuan selama menempuh pendidikan.
4. Kedua orang tua tercinta atas segala doa, kasih sayang, dukungan, pengorbanan, serta motivasi yang tiada henti diberikan kepada penulis selama proses penyusunan tesis ini.
5. Ketiga sahabat saya, Nurwafa', Evieta Risnanda, dan Prisa Aulia Zam-Zam yang selalu memberikan dukungan, semangat, serta bantuan dalam berbagai hal selama proses penyusunan tugas akhir ini.
6. Rekan – rekan Magister Teknik Kimia Angkatan 2024, Syarif Hidayatullah dan Oktaviano Catur Arya atas dukungan dan bantuannya
7. Semua pihak yang turut membantu penelitian dan penulisan tesis ini yang

tidak dapat disebutkan satu-persatu.

Laporan hasil penelitian tesis ini dapat memberikan kontribusi nyata dalam pengembangan energi terbarukan yang berbasis pada potensi lokal. Penulis menyadari bahwa laporan ini masih jauh dari sempurna, sehingga kritik dan saran yang sifatnya membangun dan konstruktif sangat kami perlukan dalam penyempurnaan tesis ini.

Banjarbaru, Juni 2026

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN	iii
RINGKASAN	iv
SUMMARY	vi
RIWAYAT HIDUP PENULIS	viii
PRAKARTA	ix
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR TABEL.....	xiv
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR LAMPIRAN.....	xvii
DAFTAR NOTASI.....	xviii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Manfaat Penelitian	4
1.5 Luaran Penelitian	5
1.6 Kebaharuan Penelitian	5
1.7 Hipotesis Penelitian.....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	7
2.1 Dasar Teori.....	7
2.1.1 Kelakai	7
2.1.2 Delignifikasi.....	9

2.1.2.1 Metode Delignifikasi.....	10
2.1.2.2 Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Delignifikasi	11
2.1.2.2.1 Pengaruh Konsentrasi Agen Delignifikasi	11
2.1.2.2.2 Pengaruh Suhu Pemanasan Delignifikasi	13
2.1.3 Analisis Termogravimetri dan Studi Kinetika	13
2.1.4 Proses Pirolisis	18
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	21
3.1 Alat dan Bahan.....	21
3.1.1 Alat.....	21
3.1.2 Bahan	22
3.2 Lokasi Penelitian.....	22
3.3 Alur Tahapan Proses	22
3.1.1 Skema Proses Delignifikasi Kelakai	23
3.1.2 Skema Proses Pirolisis Kelakai.....	24
3.4 Variabel Penelitian.....	25
3.5 Prosedur Penelitian	25
3.5.1 Persiapan Bahan Baku	25
3.5.2 Proses Delignifikasi Kelakai.....	26
3.5.2.1 NaOH <i>Treatment</i>	26
3.5.2.2 Model Kinetika menggunakan <i>Coats-Redfern Method</i>	26
3.5.2.2.1 Chemical Kinetic Models.....	26
3.5.2.2.2 Metode Integral	28
3.5.3 Proses Pirolisis	29
3.6 Karakterisasi dan Analisis Sampel Bahan Baku dan <i>Bio - Oil</i>	29
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	30
4.1 Delignifikasi Kelakai dengan Sodium Hidroksida (NaOH)	30

4.1.1 Analisis Kandungan Lignoselulosa (Hemiselulosa, Selulosa, dan Lignin) Sebelum dan Sesudah Delignifikasi.....	34
4.1.2 Pengaruh Suhu Pemanasan terhadap Kandungan Lignoselulosa	39
4.2 Karakterisasi Struktur Kelakai Sebelum dan Sesudah Delignifikasi	41
4.3 Hubungan Karakteristik Biomassa Kelakai setelah Delignifikasi terhadap Perilaku Pirolisis	50
4.4 Analisis Stabilitas Termal Kelakai Berdasarkan Kurva <i>Thermogravimetric Analysis</i> (TG) dan <i>Derivative Thermogravimetry</i> (DTG).....	51
4.4.1. Tahap Dehidrasi	54
4.4.2 Tahap Devolatilisasi.....	55
4.4.3 Tahap <i>Char Formation</i>	57
4.5 Analisis Kinetika Pirolisis Kelakai	58
4.5.1 Energi Aktivasi menggunakan Metode <i>Coats-Redfern</i>	64
4.6 Pengaruh Delignifikasi NaOH terhadap <i>Yield</i> dan Distribusi Produk Pirolisis Kelakai	64
4.6.1 Distribusi dan Komposisi Senyawa <i>Bio – oil</i> Berdasarkan Analisa <i>Gas Chromatography–Mass Spectrometry</i> (GC-MS)	68
4.7 Penentuan Kondisi Optimum <i>Pretreatment</i> Delignifikasi Biomassa Kelakai	77
BAB V PENUTUP.....	80
5.1 Kesimpulan	80
5.2 Saran.....	82
DAFTAR PUSTAKA	83

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Kandungan Senyawa pada Kelakai	9
Tabel 2.2 Perbandingan Beberapa Jenis <i>Pre-treatment</i> terhadap Kandungan Lignin.	12
Tabel 2.3 Perbandingan Suhu Pemanasan Pada Proses Delignifikasi NaOH	13
Tabel 2.4 Kandungan Lignoselulosa pada Tiap Jenis Konsentrasi	13
Tabel 2.5 Hasil Kinetika pada Beberapa Pemodelan	16
Tabel 2.6 Hasil Nilai Ea dan A pada Berbagai Jenis <i>Heating Rate</i> (°C/menit) ...	19
Tabel 2.7 Hasil <i>Yield</i> Produk Pirolisis pada Biomassa A. Donax	19
Tabel 2.8 Distribusi Perubahan Senyawa Penyusun Utama pada Beberapa Konsentrasi NaOH	19
Tabel 4.1 Kandungan Proksimat Kelakai Sebelum dan Sesudah Delignifikasi..	33
Tabel 4.2 Komposisi Lignoselulosa Kelakai Setelah Delignifikasi	35
Tabel 4.3 Hasil Kandungan Lignoselulosa Kelakai setelah Pemanasan pada suhu 80°C, 100°C, dan tanpa dipanaskan pada kondisi konsentrasi NaOH 5%	39
Tabel 4.4 <i>Crystallinity Index</i> (CrI) Kelakai Sebelum dan Sesudah Delignifikasi.	48
Tabel 4.5 Suhu Dekomposisi Setiap Tahap Pirolisis pada Kelakai Sebelum dan Sesudah Delignifikasi	53
Tabel 4.6 Parameter Kinetika Menggunakan Metode <i>Coats-Redfern</i> Orde 1 pada Kelakai Sebelum dan Sesudah Delignifikasi	61
Tabel 4.7 <i>Yield</i> Produk Pirolisis Biomassa Kelakai	65
Tabel 4.8 Distribusi Senyawa <i>Bio-oil</i> pada Sampel Kelakai Sebelum dan Sesudah Delignifikasi.....	69
Tabel 4.9 Perbandingan Parameter dalam Penentuan Kondisi Optimum Delignifikasi Biomassa Kelakai.....	78

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Tanaman Kelakai yang ada di Kalimantan Selatan	6
Gambar 2.2 <i>Pre-treatment</i> Pemecahan Lignin dari Lignoselulosa	8
Gambar 2.3 Mekanisme Pemutusan Struktur Ikatan antara Lignin dan Selulosa menggunakan NaOH.....	10
Gambar 2.4 <i>Pyrolysis Reactor Set up</i>	17
Gambar 3.1 Rangkaian Alat Proses Delignifikasi	20
Gambar 3.2 Rangkaian Alat Proses Pirolisis.....	21
Gambar 3.3 Alur Tahapan Proses Delignifikasi Kelakai dengan NaOH	22
Gambar 3.4 Alur Tahapan Proses Pirolisis Kelakai	23
Gambar 4.1 Serbuk Kelakai Sebelum dan Sesudah proses Delignifikasi	29
Gambar 4.2 <i>Lignin Removal (%)</i> pada Sampel kelakai dengan Konsentrasi Larutan NaOH 5% pada Kondisi Tanpa Dipanaskan, dan Pemanasan di Suhu 80°C dan 100°C.....	40
Gambar 4.3 Pengaruh Delignifikasi NaOH Terhadap Komposisi Unsur	42
Gambar 4.4 Perubahan Struktur Morfologi pada Sampel KU, KD5, KD10, dan KD15.....	45
Gambar 4.5 Analisa <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD) Pada Variasi Sampel Kelakai	47
Gambar 4.6 Analisa Spektra FTIR Pada Variasi Sampel Kelakai	49
Gambar 4.7 Kurva Analisis Termogravimetri (TG) Sampel Kelakai	52
Gambar 4.8 Kurva Derivatif Termogravimetri (DTG) Sampel Kelakai	53
Gambar 4.9 Model Kinetika <i>Coats-Redfern Method</i> Orde 1 Sampel kelakai.....	61
Gambar 4.10 Distribusi Kelompok Senyawa <i>Bio-oil</i> Hasil Pirolisis Kelakai Sebelum dan Sesudah Delignifikasi	73

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran A Perhitungan.....	A-1
A.1 Perhitungan Pembuatan Larutan NaOH.....	A-1
A.2 Perhitungan Standar Deviasi (SD), Standar Error (SE) dan Error Bar pada Analisis Lignoselulosa Kelakai untuk Tiap Variasi Konsentrasi NaOH dan Suhu Pemanasan	A-2
A.3 Lampiran Hasil Analisa <i>X-Ray Flourence</i> (XRF).....	A-3
A.4 Lampiran Hasil Analisa <i>X-Ray Diffaraction</i> (XRD).....	A-5
A.5 Data Perhitungan Parameter Kinetika Menggunakan Metode <i>Coats-Redfern</i> Orde 1 berdasarkan Hasil Analisis TGA (25-800°C)	A-6
A.5.1 Perhitungan Parameter Kinetika Menggunakan Metode <i>Coats-Redfern</i> Orde 1 berdasarkan Hasil Analisis TGA untuk Sampel KU.....	A-6
A.5.2 Perhitungan Parameter Kinetika Menggunakan Metode <i>Coats-Redfern</i> Orde 1 berdasarkan Hasil Analisis TGA untuk Sampel KD5.....	A-7
A.5.3 Data Perhitungan Parameter Kinetika Menggunakan Metode <i>Coats-Redfern</i> Orde 1 berdasarkan Hasil Analisis TGA untuk Sampel KD10.....	A-7
A.5.4 Data Perhitungan Parameter Kinetika Menggunakan Metode <i>Coats-Redfern</i> Orde 1 berdasarkan Hasil Analisis TGA ntuk Sampel KD15.....	A-8
A.6 Perhitungan Data Kinetika dari Metode <i>Coats-Redfern</i>	A-9
A.7 Data Perhitungan <i>Yield</i> Produk Pirolisis Kelakai (<i>Bio-oil, bio-char, dan bio-gas</i>).....	A-11
A.7.1 Perhitungan <i>Yield</i> Produk untuk Sampel KU.....	A-11
A.7.2 Perhitungan <i>Yield</i> Produk untuk Sampel KD5.....	A-12
A.8 Perhitungan Kenaikan dan Penurunan <i>Yield</i> Produk Pirolisis	A-13
A.9 Data Hasil Analisis GC-MS <i>Bio – oil</i>	A-14

A.9.1 Profil Senyawa dan Data <i>Peak</i> GC-MS <i>Bio-oil</i> untuk Sampel KU	A-15
A.9.2 Profil Senyawa dan Data <i>Peak</i> GC-MS <i>Bio-oil</i> untuk Sampel KD5	A-16
Lampiran B Dokumentasi Penelitian	B-1

DAFTAR NOTASI

T	= Suhu, dalam °C atau K
$T_{\max}$	= Laju dekomposisi maksimum (puncak DTG), °C
T_{onset}	= <i>Onset</i> suhu dekomposisi pada DTG, °C
CRM	= <i>Coats-Redfern Method</i>
α	= Konversi fraksional,
β	= <i>Heating rate</i> , °C·min ⁻¹
E_a	= Energi aktivasi, kJ/mol
A	= Faktor pra-eksponensial, s ⁻¹
R	= Konstanta gas idel (8.314), J·mol ⁻¹ K ⁻¹
m	= massa sampel pada (t) , mg
m_0	= massa awal sampel, mg
m_f	= massa akhir sampel setelah dekomposisi, mg
$\ln[g(\alpha)/T^2]$	= Persamaan linear <i>Coats-Redfern</i>
$1/T$	= Kebalikan suhu (1/T) digunakan dalam grafik kinetika, K ⁻¹
R^2	= Koefisien determinasi
Δm	= <i>Mass loss</i> , %
$g(\alpha)$	= Persamaan integral
k	= Laju reaksi konstan, s ⁻¹
NaOH	= Natrium hidroksida
KU	= Sampel kelakai murni
KD5	= Sampel kelakai dengan delignifikasi NaOH 5%
KD10	= Sampel kelakai dengan delignifikasi NaOH 10%
KD15	= Sampel kelakai dengan delignifikasi NaOH 15%
(L5-T0)	= Sampel kelakai dengan delignifikasi NaOH 5% tanpa dipanaskan
(L5-T80)	= Sampel kelakai dengan delignifikasi NaOH 5% suhu 80°C
(L5-T100)	= Sampel kelakai dengan delignifikasi NaOH 5% suhu 100°C