

**KARAKTERISTIK BIOMASSA INDONESIA
UNTUK MENDUKUNG INDUSTRI BIOENERGI PADAT**

TESIS

**Karya tulis sebagai salah satu syarat
untuk memperoleh gelar Magister Teknik dari
Universitas Darma Persada**

Oleh

YAMIN PAKAYA

NIM : 2022910006

(Program Studi Magister Teknik Energi Terbarukan)



**SEKOLAH PASCASARJANA
UNIVERSITAS DARMA PERSADA
JAKARTA**

2024

PERNYATAAN KEASLIAN

"Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa tesis ini merupakan hasil karya sendiri dan sepanjang pengetahuan dan keyakinan saya tidak mencantumkan tanpa pengakuan bahan-bahan yang telah dipublikasikan sebelumnya atau ditulis oleh orang lain, atau sebagian bahan yang pernah diajukan untuk gelar atau ijazah pada Universitas Darma Persada atau perguruan tinggi lainnya"

Jakarta, Juli 2024




Yamin Pakaya
NIM : 2022910006

ABSTRAK

YAMIN PAKAYA (2022910006). Karakteristik Biomassa Indonesia untuk Mendukung Industri Bioenergi Padat, dibawah bimbingan Dr. Ir. Muhammad Syukri Nur, Msi, Dr. Eng. Aep Saepul Uyun, S.Tp. M. Eng, dan Prof. Dr. Kamaruddin Abdullah, IPU, dan Dr. As Natio Lasman.

Pendayagunaan biomassa menjadi bioenergi merupakan langkah penyediaan energi terbarukan yang akan menggeser peran dominan energi fosil. Langkah ini juga merupakan upaya pelestarian lingkungan melalui pengurangan emisi gas rumah kaca, serta memberikan peluang usaha dan kerja bagi masyarakat. Secara alami ketersediaan biomassa sangat melimpah dan beragam baik jenis dan sumbernya. Untuk itu diperlukan upaya mempelajari karakteristik biomassa dan pemanfaatannya yang berimbang lestari. Penelitian ini bertujuan menggali karakteristik biomassa Indonesia berdasarkan potensi limbah agroindustri Indonesia yang dapat dimanfaatkan untuk *co-firing* pembangkit listrik tenaga uap (PLTU). Secara khusus, penelitian ini bertujuan: mencari dan mengidentifikasi sumber dan tipe biomassa yang tersedia di Indonesia; mengkaji karakteristik tipe biomassa berdasarkan analisis proximate, ultimate, nilai kalori, dan kandungan lignocellulocic; dan menentukan kelayakan biomassa tersebut untuk digunakan sebagai bahan bakar *co-firing* PLTU yang beroperasi di Indonesia. Metode yang digunakan adalah tinjauan pustaka dengan pengumpulan data sekunder dari lembaga seperti Phyllis2 (<https://phyllis.nl/>), SCOPUS, Sciencedirect.com, dan lain-lain.

Berdasarkan penelitian ini maka dapat disimpulkan bahwa:

- Sumber bahan baku biomassa untuk digunakan sebagai bioenergi padat (*solid bioenergy*) dalam penelitian ini dikelompokkan menjadi lima kelompok yaitu limbah pertanian, limbah perkebunan, limbah kehutanan, hutan tanaman industri, dan sampah pemukiman (MSW).
- Upaya pemanfaatan biomassa menjadi bioenergi akan berkontribusi pada pembangunan berkelanjutan termasuk penurunan emisi untuk mitigasi perubahan iklim.
- Karakteristik setiap tipe biomassa berbeda berdasarkan kandungan lignocellulocic, serta sifat fisik dan kimianya yang dapat dikaji dari analisis proximate dan analisis ultimate.
- Indonesia memiliki potensi biomassa yang melimpah dengan tipe dan karakteristik yang memenuhi syarat untuk dimanfaatkan sebagai *co-firing* PLTU baik dalam bentuk biomassa tanpa diolah (*unprocessed biomass*) dan biomassa yang harus diolah (*processed biomass*).
- Hasil penelitian secara hipotesis berdasarkan data yang tersedia yang diuji dengan konsep metode skoring menyimpulkan bahwa terdapat peringkat jenis biomassa yang layak dipertimbangkan untuk dikaji dan diterapkan sebagai bahan baku *co-firing* pada PLTU Indonesia.

Langkah lanjutan yang diperlukan adalah pelaksanaan riset mandiri karakteristik bahan bakar biomassa Indonesia dan solusi peningkatan nilai kalorinya melalui pemilihan teknologi konversi untuk diaplikasi dalam skala industri maupun skala kecil dan menengah dengan konsep *circular bioeconomy*.

Kata kunci: biomass, bioenergy, co-firing, wood pellet, circular bioeconomy, sustainable development.

ABSTRACT

YAMIN PAKAYA (2022910006). Characteristics of Indonesian Biomass to Support Solid Bioenergy Industry, under the Guidance of Dr. Ir. Muhammad Syukri Nur, Msi, Dr. Eng. Aep Saepul Uyun, S.Tp. M. Eng, Prof. Dr. Kamaruddin Abdullah, IPU, and Dr. As Natio Lasman.

Utilization of biomass into bioenergy is a step to provide renewable energy that will shift the dominant role of fossil energy. This step is also an effort to preserve the environment by reducing greenhouse gas emissions, as well as providing business and employment opportunities for the community. Naturally, the availability of biomass is very abundant and diverse in both types and sources. For this reason, efforts are needed to study the characteristics of biomass and its balanced sustainable utilization. This study aims to explore the characteristics of Indonesian biomass based on the potential of Indonesian agro-industrial waste that can be utilized for co-firing of steam power plants (PLTU). Specifically, this study aims to: find and identify sources and types of biomass available in Indonesia; examine the characteristics of biomass types based on proximate, ultimate, calorific value, and lignocellulocic content analysis; and determine the feasibility of the biomass for use as co-firing fuel for PLTUs operating in Indonesia. The method used is a literature review with secondary data collection from institutions such as Phyllis2 (<https://phyllis.nl/>), SCOPUS, Sciencedirect.com, and others.

Based on this research, it can be concluded that:

- The sources of biomass raw materials for use as solid bioenergy in this study are grouped into five groups, namely agricultural waste, plantation waste, forestry waste, industrial tree plantations, and residential waste (MSW).
- Efforts to utilize biomass into bioenergy will contribute to sustainable development including reducing emissions to mitigate climate change.
- The characteristics of each type of biomass differ based on the lignocellulocic content, as well as its physical and chemical properties that can be studied from proximate analysis and ultimate analysis.
- Indonesia has abundant biomass potential with types and characteristics that meet the requirements to be utilized as co-firing for PLTU, both in the form of unprocessed biomass and biomass that must be processed (processed biomass).
- The results of the hypothetical study based on available data tested using the scoring method concept concluded that there is a ranking of biomass types that are worthy of consideration for study and application as raw materials for co-firing in PLTU Indonesia.

Further step is the implementation of independent research on the characteristics of Indonesian biomass fuel and solutions to increase its calorific value through the selection of conversion technology for application on an industrial scale or on a small and medium scale with the concept of a circular bioeconomy.

Keywords: biomass, bioenergy, co-firing, wood pellet, circular bioeconomy, sustainable development.

LEMBAR PERSETUJUAN TESIS

Judul Tesis : Karakteristik Biomassa Indonesia Untuk Mendukung Industri Bioenergi Padat
Nama : Yamin Pakaya
NIM : 2022910006

Telah disetujui oleh komisi pembimbing dan penguji

Dr. Ir. Muhammad Syukri Nur, MSi
(Pembimbing Utama/Penguji)

Dr. Eng. Aep Saepul Uyun, S.Tp., M.Eng.
(Anggota/Penguji)

Prof. Dr. Kamaruddin Abdullah, IPU
(Anggota/Penguji)

Dr. As Natio Lasman
(Anggota/Penguji)

Mengetahui

Ketua Program Studi

(Dr. Eng. Aep Saepul Uyun, S.Tp., M.Eng.)

Direktur Pascasarjana

(Dr. As Natio Lasman)

Tanggal Ujian : 25 Juli 2024
Tanggal Yudisium : 27 Juli 2024

KATA PENGANTAR

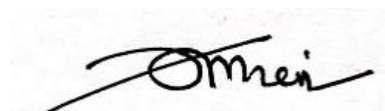
Puji syukur dipanjatkan kehadiran Allah SWT atas limpahan rahmat dan karuniNya sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian yang berjudul "Karakteristik Biomassa Indonesia Untuk Mendukung Industri Bioenergi Padat". Penelitian ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Magister Teknik pada Program Studi Magister Fakultas Teknik Energi Terbarukan Universitas Darma Persada.

Penulis menyadari tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak akan sulit bagi penulis untuk menyelesaikan tesis ini sesuai jadwal yang telah ditentukan. Untuk itu penulis mengucapkan terima kasih kepada pihak yang telah membantu di antaranya:

1. Rekan-rekan mahasiswa Program Pasca Sarjana Fakultas Teknik Energi Terbarukan Universitas Darma Persada yang selalu memberikan semangat dan dukungan terhadap penyusunan tesis ini.
2. Pengurus Masyarakat Energi Biomassa Indonesia (MEBI) yang selalu memberikan dukungan data terhadap penyusunan tesis ini
3. Mitra Yayasan Carbon Treat Indonesia (YCTI) yang selalu memberikan saran dan masukan terhadap penyusunan tesis ini
4. Dian Thiani Amalia, puteri tersayang yang selalu memberikan semangat dan dukungan terhadap penyusunan tesis ini.

Penulis berharap semoga tesis ini dapat bermanfaat bagi pihak yang membutuhkan.

Jakarta, Juli 2024



Yamin Pakaya

NIM : 2022910006

RIWAYAT HIDUP

Penulis dilahirkan di Gorontalo pada tanggal 29 Nopember 1958 sebagai anak sulung dari pasangan Ibrahim Pakaya (Almarhum) dan Maria Gani (Almarhumah). Pada tahun 1979 penulis diterima di IKIP Jakarta (sekarang Universitas Negeri Jakarta), Bidang Studi Elektronika, Fakultas Pendidikan Teknologi Kejuruan.

Setelah lulus kuliah pada tahun 1983-1986 penulis sempat bekerja sebagai teknisi dan training coordinator pada pabrik semikonduktor PT. Fairchild Semiconductor Indonesia. Selanjutnya penulis bekerja sebagai Branch Manager Sankiviga Group yang bergerak di bidang pertambangan umum yang selanjutnya bermitra dengan perusahaan-perusahaan asing membentuk perusahaan kontrak karya yang bergerak di bidang pertambangan emas dan mineral pengikut.

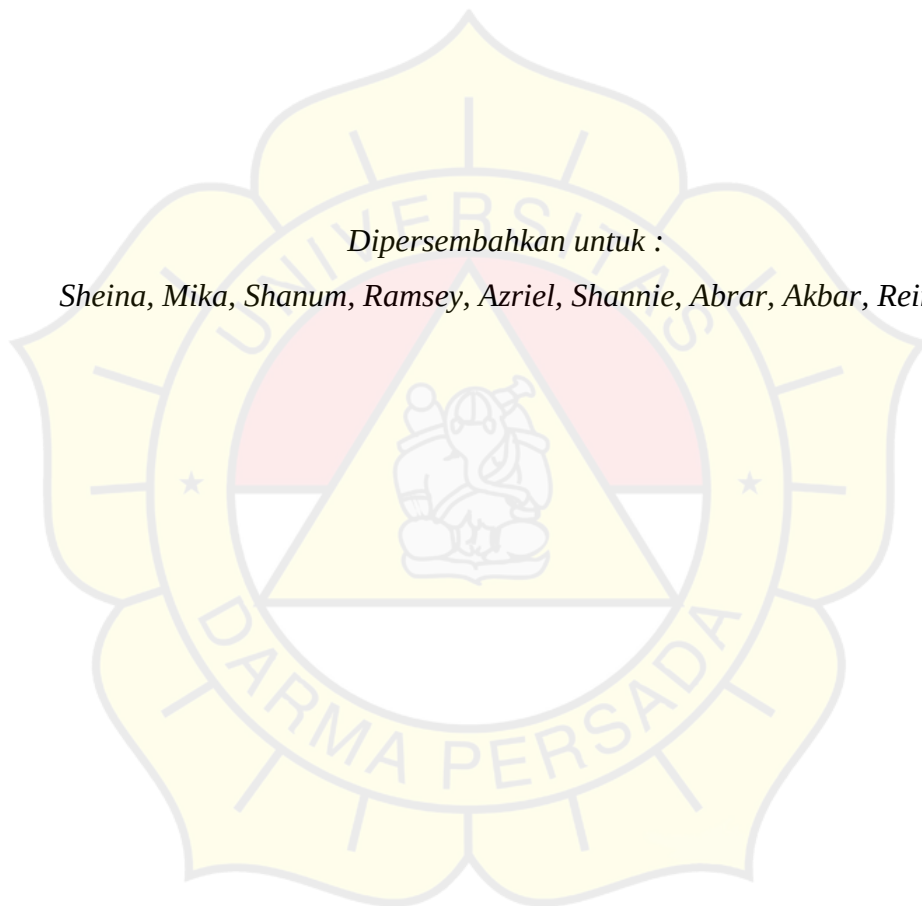
Sejak tahun 2004 sampai sekarang penulis aktif sebagai founder PT. Lippi Mining Consultant yang bergerak dalam bidang konsultan tambang dan lingkungan. Disamping sebagai konsultan penulis aktif berkifrah di lembaga swadaya masyarakat sebagai Ketua Bidang Sampah (MSW) Masyarakat Energi Biomasa Indonesia (MEBI) dan juga sebagai Ketua Yayasan Carbon Treat Indonesia (CTI) yang dalam kegiatannya telah menjalin kerjasama dengan Badan Riset Inovasi Nasional (BRIN).

Jakarta, Juli 2024



Yamin Pakaya
NIM : 2022910006

Dipersembahkan untuk :
Sheina, Mika, Shanum, Ramsey, Azriel, Shannie, Abrar, Akbar, Reina



UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis sangat berterima kasih kepada Dr. Ir. Muhammad Syukri Nur, MSi sebagai Pembimbing Utama/Penguji, atas segala saran, bimbingan dan nasehatnya selama penelitian berlangsung dan selama penulisan tesis ini.

Penulis juga berterima kasih atas saran, kritik dan nasihat dari anggota Tim Pembimbing Dr. Eng. Aep Saepul Uyun, S.Tp., M.Eng, Prof. Dr. Kamaruddin Abdullah, IPU, dan Dr. As Natio Lasman.

Terima kasih disampaikan kepada Dr. Eng. Aep Saepul Uyun, S.Tp., M.Eng, sebagai Ketua Program Studi dan Dr. As Natio Lasman selaku Direktur Pasca Sarjana Fakultas Teknik Energi Terbarukan Universitas Darma Persada, atas segala saran, bimbingan dan nasehatnya selama penelitian berlangsung dan selama penulisan tesis ini.

Jakarta, Juli 2024



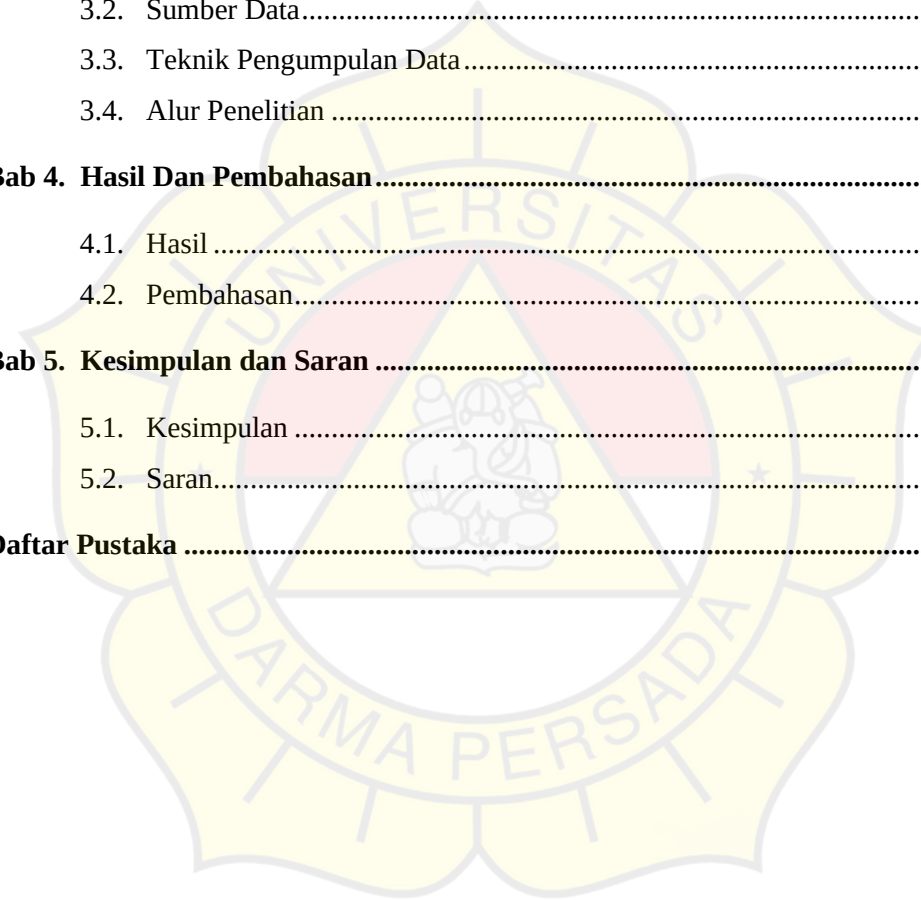
Yamin Pakaya

NIM : 2022910006

Daftar Isi

UNIVERSITAS DARMA PERSADA	i
PERNYATAAN KEASLIAN.....	ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.
ABSTRAK	III
ABSTRACT.....	IV
LEMBAR PERSETUJUAN TESIS.....	V
KATA PENGANTAR.....	VI
RIWAYAT HIDUP.....	VII
UCAPAN TERIMA KASIH	IX
Daftar Isi.....	X
Daftar Tabel	XII
Daftar Gambar.....	XIII
Daftar Lampiran.....	XV
Bab 1. Pendahuluan.....	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Perumusan Masalah	3
1.3. Tujuan Penelitian	4
1.4. Ruang Lingkup Penelitian.....	4
1.5. Manfaat Penelitian	5
Bab 2. Tinjauan Pustaka	7
2.1. Pengertian Biomassa	7
2.2. Sumber dan Tipe Biomassa.....	7
2.3. Klasifikasi Biomassa.....	9
2.4. Karakteristik dan Komponen Penyusun Biomassa	10
2.5. Karakteristik Sifat Fisik dan Termokimia Biomassa	12
2.6. Kalori Biomassa	14
2.7. Teknologi Konversi.....	14

2.8. Prediksi Kandungan Energi Biomassa	15
2.9. Pemanfaatan Biomassa.....	19
2.10. Manfaat Penggunaan Biomassa	21
2.11. Keuntungan dan Kerugian Pemanfaatan Biomassa	22
2.12. Keberlanjutan Pengelolaan Biomassa	23
2.13. Biomassa dan Nationally Determined Cocntribution.....	26
Bab 3. Metodologi Penelitian	30
3.1. Lokasi dan Waktu Penelitian	30
3.2. Sumber Data.....	30
3.3. Teknik Pengumpulan Data.....	30
3.4. Alur Penelitian	32
Bab 4. Hasil Dan Pembahasan.....	35
4.1. Hasil	35
4.2. Pembahasan.....	44
Bab 5. Kesimpulan dan Saran	55
5.1. Kesimpulan	58
5.2. Saran.....	59
Daftar Pustaka	57



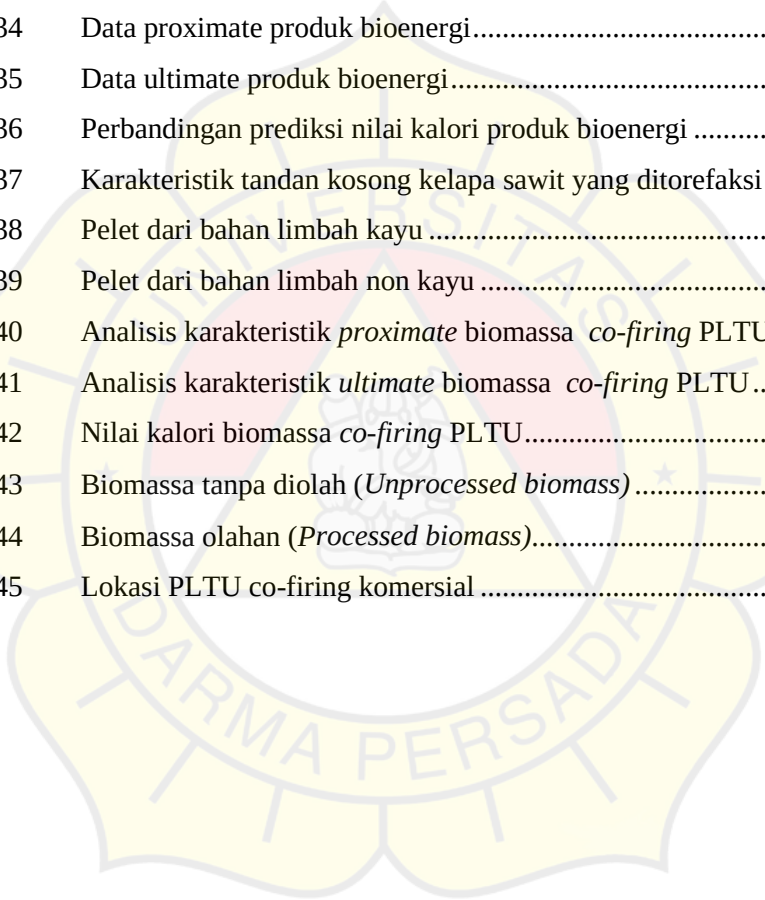
Daftar Tabel

Tabel 1	Contoh tipe biomassa berdasarkan aktivitas pertanian	10
Tabel 2	Perbandingan nilai O/C dan H/C dari berbagai bahan	14
Tabel 3	Persamaan untuk prediksi HHV berdasarkan kandungan unsur biomassa	16
Tabel 4	Identifikasi keuntungan dan kekurangan dalam pemanfaatan biomassa menjadi bioenergi.	22
Tabel 5	Proyeksi Penurunan Emisi Berdsarkan BAU Setiap Sektor	31
Tabel 6	Rincian jenis sumber biomassa dan produk bioenergi.....	31
Tabel 7	Persamaan untuk perhitungan nilai kalori (HHV)	34
Tabel 8	Jenis biomassa untuk <i>co-firing</i> PLTU Indonesia	45
Tabel 9	Nilai kalori dari jenis pellet biomassa.....	46
Tabel 10	SNI Industri Pelet Kayu.....	47
Tabel 11	Harga bahan bakar produk biomassa (eksisting)	51
Tabel 12	Kriteria penentuan skoring bahan bakar biomassa unttuk cofiring PLTU.	53
Tabel 13	Persentase Jenis Bahan Bakar Biomassa cofiring PLTU.....	54
Tabel 14	Hasil perankingan jenis bahan bakar biomassa untuk cofiring PLTU.....	55
Tabel 15	Pemanfaatan komersial bahan bakar biomassa cofiring PLTU	56

Daftar Gambar

Gambar 1.	Capaian dan terget bauran energi terbarukan (EBT) di setiap Provinsi	1
Gambar 2	Kerangka penelitian.....	6
Gambar 3	Sumber bahan baku biomassa (Tursi, 2019)	8
Gambar 4	Berbagai jenis sumber daya biomassa digunakan untuk menghasilkan bioenergi (Sumber: [18].	9
Gambar 5	Komponen penyusun biomassa dan fungsinya (Tursi, 2019).	11
Gambar 6	Karakteristik biomassa berdasarkan sifat-sifat fisik dan termokimia.....	12
Gambar 7	Diagram Alir Kisaran nilai O/C dan H/C dari berbagai bahan dan biomassa	13
Gambar 8	Proses konversi biomassa menjadi produk bioenergi dan pemanfaatannya.....	14
Gambar 9	Karakteristik biomassa dan hasil produknya.....	16
Gambar 10	Tujuh belas Tujuan Pembangunan Berkelanjutan (SDGs) berdasarkan PBB (https://www.un.org/sustainabledevelopment/).	24
Gambar 11	Histogram manfaat pengurangan emisi karbon di Provinsi Hubei Tiongkok 2017	24
Gambar 12	Harmonisasi potensi pengurangan dan biaya penghindaran CO ₂ pada industri besi dan baja. Sumber : [28]	24
Gambar 13	Harmonisasi potensi pengurangan dan biaya penghindaran CO ₂ i pada industri semen, kimia, dan hidrogen. Sumber : [28]	24
Gambar 14	Peran PLN melakukan transisi energi menuju cabon neutral 2060	24
Gambar 15	Emisi bersih CO ₂ tanpa dan dengan perkuatan CCS pada PC	29
Gambar 16	Diagram alur penelitian	32
Gambar 17	Data lignoselulosa dari limbah pertanian	35
Gambar 18	Data lignoselulosa dari limbah perkebunan	36
Gambar 19	Data lignoselulosa dari limbah kehutanan.....	36
Gambar 20	Data lignoselulosa hutan tanaman industri.....	36
Gambar 21	Data proximate dari limbah pertanian	37
Gambar 22	Data proximate dari limbah perkebunan	37
Gambar 23	Data proximate dari limbah perikanan dan kelautan.....	38
Gambar 24	Data proximate dari limbah kehutanan	38

Gambar 25	Data proximate hutan tanaman industri.....	38
Gambar 26	Data proximate sampah (MSW)	39
Gambar 27	Data ultimate limbah pertanian	39
Gambar 28	Data ultimate limbah perkebunan.....	40
Gambar 29	Data ultimate limbah perikanan dan kelautan	40
Gambar 30	Data ultimate limbah kehutanan.....	40
Gambar 31	Data ultimate hutan tanaman industri	41
Gambar 32	Data ultimate sampah (MSW)	41
Gambar 33	Perbandingan prediksi nilai kalori biomassa.....	42
Gambar 34	Data proximate produk bioenergi.....	40
Gambar 35	Data ultimate produk bioenergi.....	43
Gambar 36	Perbandingan prediksi nilai kalori produk bioenergi	43
Gambar 37	Karakteristik tandan kosong kelapa sawit yang ditorefaksi	44
Gambar 38	Pelet dari bahan limbah kayu	45
Gambar 39	Pelet dari bahan limbah non kayu	45
Gambar 40	Analisis karakteristik <i>proximate</i> biomassa <i>co-firing</i> PLTU.....	48
Gambar 41	Analisis karakteristik <i>ultimate</i> biomassa <i>co-firing</i> PLTU	48
Gambar 42	Nilai kalori biomassa <i>co-firing</i> PLTU.....	49
Gambar 43	Biomassa tanpa diolah (<i>Unprocessed biomass</i>)	50
Gambar 44	Biomassa olahan (<i>Processed biomass</i>).....	50
Gambar 45	Lokasi PLTU <i>co-firing</i> komersial	56



Daftar Lampiran

- Lampiran 1.** Data karakteristik 48 tipe biomassa dari berbagai sumber
- Lampiran 2.** Data Nilai Kalori 48 tipe biomassa dari berbagai sumber dan 1 batubara sebagai pembanding.
- Lampiran 3.** Data hasil penskoran jenis bahan bakar biomassa bahan baku *co-firing* PLTU.

