

TESIS

**BIOBRIKET SEBAGAI BAHAN BAKAR TERBARUKAN BERBASIS
BIOMASSA DAN BIOARANG LIMBAH KAYU ULIN UNTUK
MENINGKATKAN SIRKULASI EKONOMI MASYARAKAT INDUSTRI**

ANDRE AZHAR WINATA



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

2025

TESIS

**BIOBRIKET SEBAGAI BAHAN BAKAR TERBARUKAN BERBASIS
BIOMASSA DAN BIOARANG LIMBAH KAYU ULIN UNTUK
MENINGKATKAN SIRKULASI EKONOMI MASYARAKAT INDUSTRI**

**Karya Tulis sebagai salah satu syarat
untuk memperoleh gelar Magister dari
Universitas Lambung Mangkurat**

**ANDRE AZHAR WINATA
NIM. 2320834310009**



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

2025

LEMBAR PENGESAHAN
TESIS PROGRAM STUDI S-2 TEKNIK KIMIA

**Biobriket sebagai Bahan Bakar Terbarukan Berbasis Biomassa dan
Bioarang Limbah Kayu Ulin untuk Meningkatkan Sirkulasi
Ekonomi Masyarakat Industri**

Oleh:

Andre Azhar Winata (2320834310009)

Telah dipertahankan di depan Tim Penguji pada 11 Desember 2025 dan
dinyatakan

L U L U S

Komite Penguji :

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

Anggota 1 : Prof. Dr. Ir. Agus Mirwan, S.T., M.T
NIP. 19760819 200312 1 001

Anggota 2 : Dr. Ir. Doni Rahmat Wicakso, S.T., M.Eng
NIP. 19810112 200312 1 001

**Pembimbing
Utama** : Prof. Ir. Chairul Irawan, S.T., M.T., Ph.D
NIP. 19750404 200003 1 002

**Pembimbing
Pendamping** : Prof. Ir. Meilana Dharma Putra, S.T., M.Sc., Ph.D
NIP. 19820501 200604 1 014



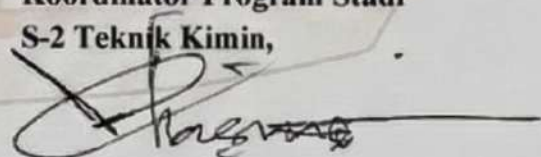
Banjarbaru, 29 Desember 2025
diketahui dan disahkan oleh :

**Wakil Dekan Bidang Akademik
Fakultas Teknik ULM,**



Dr. Mahyud, S.T., M.T
NIP. 19740107 199802 1 001

**Koordinator Program Studi
S-2 Teknik Kimia,**



Prof. Ir. Chairul Irawan, S.T., M.T., Ph.D
NIP. 19750404 200003 1 002

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini menyatakan dengan sesungguhnya bahwa tesis ini merupakan penelitian yang telah saya lakukan. Segala kutipan dari berbagai sumber telah diungkapkan sebagaimana mestinya. Tesis ini belum pernah dipublikasikan untuk keperluan lain oleh siapapun juga.

Jika dikemudian hari ternyata pernyataan saya ini tidak benar, maka saya bersedia menerima hukuman dari ketidakbenaran pernyataan tersebut.

Banjarmasin, Januari 2026
Yang Membuat Pernyataan,

ANDRE AZHAR WINATA
NIM. 2320834310009

ABSTRAK
BIOBRIKET SEBAGAI BAHAN BAKAR TERBARUKAN BERBASIS
BIOMASSA DAN BIOARANG LIMBAH KAYU ULIN UNTUK
MENINGKATKAN SIRKULASI EKONOMI MASYARAKAT INDUSTRI

ANDRE AZHAR WINATA
NIM. 2320834310009

Prof. Ir. CHAIRUL IRAWAN, ST., MT., Ph.D

Briket campuran lignit–biomassa berpotensi menjadi bahan bakar padat industri yang lebih bersih, namun kinerja fisik-kimia dan kelayakan keberlanjutannya belum terdokumentasi komprehensif. Penelitian ini menyelidiki pengaruh *pre-treatment* alkali (NaOH 5 %) terhadap biomassa kayu ulin, pirolisis 500 °C pada lignit, serta variasi komposisi batubara:biomassa:*binder* (tar atau *bio-oil*) terhadap mutu briket, emisi, dan performa ekonomi-lingkungan. Uji proksimat-*ultimate*, kekuatan tekan, kalor bakar, dan emisi SO₂/NO_x dilakukan pada empat formulasi utama (BA-Tar, BA-Bio, BSG-Tar, BSG-Bio). *Pre-treatment* menurunkan *volatile* biomassa ± 45 % dan menaikkan *fixed carbon* sehingga briket menjadi lebih padat ($\rho \approx 1,10 \text{ g cm}^{-3}$) dan kuat ($\sigma > 4,5 \text{ MPa}$). Formulasi BSG-Bio (70 % lignit + 15 % serbuk ulin + 15 % *bio-oil*) menghasilkan nilai kalor 6.500 cal/g, emisi SO₂ terendah ($\approx 340 \text{ ppm}$), dan abu 6,5 %. Analisis *Life-Cycle Assessment (cradle-to-gate)* menunjukkan penurunan jejak karbon hingga 30 % ($2,40 \rightarrow 1,70 \text{ kg CO}_2\text{eq kg}^{-1}$) dibanding briket batubara murni, tanpa kenaikan kebutuhan energi proses (CED 5,9–6,1 MJ kg⁻¹). *Cost-Benefit Analysis* pada skala 24.000 t/tahun memberi CAPEX Rp 23,6 miliar, biaya produksi Rp 818 kg⁻¹, NPV Rp 26,7 miliar, IRR 29 %, dan *payback* ± 4 tahun. Hasil tersebut menegaskan bahwa substitusi 15 % biomassa kayu ulin dan penggunaan *bio-oil* tidak hanya meningkatkan kualitas dan menekan emisi, tetapi juga layak secara ekonomi untuk mendukung dekarbonisasi sektor energi industri.

Kata kunci : briket lignit–biomassa, *pre-treatment* alkali, pirolisis 500 °C, *life-cycle assessment*, *cost-benefit analysis*, *bio-oil binder*

ABSTRACT
**BIOBRIQUETTES AS A RENEWABLE FUEL BASED ON BIOMASS AND
BIOCHAR DERIVED FROM ULIN WOOD WASTE TO ENHANCE
ECONOMIC CIRCULATION IN INDUSTRIAL COMMUNITIES**

ANDRE AZHAR WINATA
NIM. 2320834310009

Prof. Ir. CHAIRUL IRAWAN, ST., MT., Ph.D

Lignite–biomass mixed briquettes have the potential to serve as a cleaner industrial solid fuel; however, their physicochemical performance and sustainability feasibility have not yet been comprehensively documented. This study investigates the effects of alkaline pre-treatment (5% NaOH) on ulin wood biomass, pyrolysis at 500 °C for lignite, and variations in the coal:biomass:binder composition (tar or bio-oil) on briquette quality, emissions, and economic–environmental performance. Proximate–ultimate analysis, compressive strength, heating value, and SO₂/NO_x emissions were evaluated for four main formulations (BA-Tar, BA-Bio, BSG-Tar, BSG-Bio). Pre-treatment reduced biomass volatile matter by approximately 45% and increased fixed carbon, resulting in denser ($\rho \approx 1.10 \text{ g cm}^{-3}$) and stronger ($\sigma > 4.5 \text{ MPa}$) briquettes. The BSG-Bio formulation (70% lignite + 15% ulin sawdust + 15% bio-oil) achieved a heating value of 6,500 cal/g, the lowest SO₂ emissions ($\approx 340 \text{ ppm}$), and an ash content of 6.5%. A cradle-to-gate Life-Cycle Assessment indicated a carbon footprint reduction of up to 30% ($2.40 \rightarrow 1.70 \text{ kg CO}_2\text{eq kg}^{-1}$) compared with pure coal briquettes, without increasing process energy demand (CED 5.9–6.1 MJ kg⁻¹). A Cost–Benefit Analysis at a scale of 24,000 t/year yielded a CAPEX of IDR 23.6 billion, a production cost of IDR 818 kg⁻¹, an NPV of IDR 26.7 billion, an IRR of 29%, and a payback period of approximately 4 years. These findings confirm that substituting 15% ulin wood biomass and using bio-oil as a binder not only improves quality and reduces emissions, but is also economically viable to support decarbonization in the industrial energy sector.

Keywords: lignite–biomass briquettes, alkaline pre-treatment, 500 °C pyrolysis, life-cycle assessment, cost–benefit analysis, bio-oil binder

PRAKATA

Puji syukur kehadirat Allah ta'ala berkat anugerah ilmu, kesempatan, hidayah, dan rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan kemajuan tesis penulis dengan judul **“BIOBRIKET SEBAGAI BAHAN BAKAR TERBARUKAN BERBASIS BIOMASSA DAN BIOARANG LIMBAH KAYU ULIN UNTUK MENINGKATKAN SIRKULASI EKONOMI MASYARAKAT INDUSTRI”**.

Laporan kemajuan tesis ini merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar kesarjanaan di Program Studi Magister Teknik Kimia FT – ULM Banjarbaru. Pada kesempatan kali ini penulis mengucapkan terima kasih atas segala bantuannya dalam pengerjaan Laporan kemajuan tesis ini, kepada :

1. “Prof. Ir. Chairul Irawan, ST., MT., Ph.D” selaku dosen pembimbing pertama penulis atas bimbingan dan saran yang telah diberikan.
2. “Prof. Ir. Meilana Dharma Putra, ST., Msc., Ph.D” selaku dosen pembimbing kedua penulis atas bimbingan dan saran yang telah diberikan.
3. Bapak dan Ibu dosen di lingkungan Program Studi Magister Teknik Kimia FT – ULM Banjarbaru.
4. Seluruh karyawan Program Studi Magister Teknik Kimia FT – ULM Banjarbaru.
5. Kedua orang tua penulis dan keluarga yang telah banyak memberikan dukungan.
6. Teman-teman seangkatan S-2 Teknik Kimia angkatan 2023 yang telah memberikan dukungan kepada penulis.

Penulis menyadari laporan kemajuan tesis ini masih jauh daripada sempurna, masih banyak kekurangan dan perlu perbaikan, untuk itu penulis sangat mengharapkan saran dan kritik yang membangun dari pembaca.

Banjarbaru, Januari 2026

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL TESIS	ii
HALAMAN LEMBAR PENGESAHAN	iii
PERNYATAAN	iv
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vi
PRAKATA	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR	xiii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Manfaat Penelitian	4
1.5 Hipotesis Penelitian	5
1.6 Kerangka Konsep/Teori Penelitian.....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Batubara.....	7
2.2 Limbah Biomassa dan Bioarang Kayu Ulin	8
2.3 <i>Pre-treatment</i> Kimia pada Biomassa.....	9
2.4 Perekat Tar dalam Produksi Briket.....	10
2.5 <i>Bio-Oil</i> sebagai Perekat dalam Pembuatan Briket.....	10
2.6 Metode Desulfurisasi dan Karbonisasi	11
2.7 Karakterisasi dan Analisis Briket Batubara	12
2.8 Evaluasi Keberlanjutan Briket Menggunakan <i>Life Cycle Analysis</i> (LCA)	13
2.9 Analisis Ekonomi dan <i>Cost-Benefit Analysis</i> (CBA) untuk Briket Campuran	14
2.10 <i>State of The Art</i>	15

BAB III METODE PENELITIAN	17
3.1. Alat dan Bahan	17
3.1.1 Alat.....	17
3.1.2 Bahan	18
3.2 Lokasi Penelitian	18
3.3 Alur Tahapan Proses.....	18
3.4 Variabel Penelitian	20
3.4.1 Variabel Bebas	20
3.4.2 Variabel Terikat.....	20
3.5 Prosedur Penelitian	20
3.5.1 Persiapan Sampel Kayu Ulin dan Batubara	20
3.5.2 <i>Pre-treatment</i> Kimia pada Biomassa	21
3.5.3 Proses Pirolisis pada Batubara	21
3.5.4 Desulfurisasi dengan <i>Biochar</i> dan <i>Adsorptive Desulfurization</i> (ADS).....	21
3.5.5 Pencampuran Material	22
3.5.6 Pencetakan Briket.....	22
3.5.7 Pengeringan Briket.....	22
3.5.8 Analisis Kualitas dan Emisi Briket	23
3.5.9 Analisis Kimia dan Fisika Berdasarkan Standar Internasional	23
3.5.10 Uji Pembakaran dan Efisiensi Emisi	23
3.5.11 <i>Life Cycle Analysis</i> (LCA) dan <i>Cost-Benefit Analysis</i> (CBA)	24
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	25
4.1 Karakterisasi Bahan Baku.....	25
4.2 Pengaruh <i>Pre-treatment</i> Kimia terhadap Biomassa Kayu Ulin....	27
4.3 Hasil Proses Pirolisis dan Desulfurisasi	30
4.3.1 Hasil Pirolisis: Distribusi dan Karakteristik Produk.....	30
4.3.2 Hubungan Desulfurisasi Terhadap Penurunan Kandungan Sulfur pada Batubara.....	32
4.4 Karakteristik Briket yang Dihasilkan	33

4.4.1 Sifat Fisik Briket	34
4.4.2 Sifat Kimia Briket	40
4.4.3 Analisis Spektrum FT-IR	43
4.4.4 Penampakan Morfologi Briket.....	47
4.5 Pengujian Emisi & Pembakaran	49
4.5.1 Hasil Pengukuran Emisi Gas	50
4.5.2 Efisiensi Pembakaran.....	52
4.5.3 Perbandingan dengan Standar atau Briket Konvensional	54
4.6 Analisis <i>Life Cycle</i> (LCA) dan Dampak Lingkungan.....	57
4.6.1 Inventori LCA dan Penilaian Dampak Lingkungan <i>Cradle to Gate</i>	58
4.6.2 Potensi Emisi CO ₂ eq Dibandingkan Bahan Bakar Konvensional	63
4.7 Analisis Biaya (<i>Cost-Benefit Analysis</i> , CBA)	66
BAB V KESIMPULAN	72
DAFTAR PUSTAKA	DP-1
LAMPIRAN.....	LP-1

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1 Karakteristik Proksimat dan <i>Ultimate</i> Bahan Baku (Batubara Lignit, Arang Kayu Ulin, dan Serbuk Gergaji Kayu Ulin).....	25
Tabel 4.2 Sifat Fisik Perekat (Tar Batubara dan <i>Bio-oil</i>).....	26
Tabel 4.3 Komposisi Briket dengan Deskripsi Sederhana	27
Tabel 4.4 Perbandingan Biomassa Kayu Ulin Sebelum dan Sesudah <i>Pre-treatment</i>	28
Tabel 4.5 <i>Yield</i> dan Karakteristik Produk Pirolisis (<i>Char</i> , Tar, dan <i>Bio-oil</i>)	30
Tabel 4.6 Kandungan Sulfur Sebelum dan Sesudah Desulfurisasi	32
Tabel 4.8 Sifat Fisik Briket	34
Tabel 4.9 Karakteristik Kimia Briket	40
Tabel 4.11 Indeks Gugus Fungsi dan Penurunan Pita S–O pada Sampel Terpilih	43
Tabel 4.12 Hasil Pengukuran Emisi Gas Pembakaran Briket	50
Tabel 4.13 Efisiensi Pembakaran Briket Terhadap Waktu Nyala dan Sisa Abu...52	
Tabel 4.14 Perbandingan Parameter Kualitas Briket BA-Tar dan BA-Bio.....54	
Tabel 4.15 Perbandingan Parameter Kualitas Briket BSG-Tar dan BSG-Bio	55
Tabel 4.16 Inventori Daur Hidup (<i>Life-Cycle Inventory</i>) <i>Cradle-to-Gate</i> per 1 kg Briket Lignit–Biomassa Kayu Ulin.....	59
Tabel 4.17 Perbandingan Emisi CO _{2e,q} (<i>Cradle to Gate</i>) Empat Briket vs. Bahan Bakar Konvensional	64
Tabel 4.18 Komponen Belanja Modal (Capex) Pabrik Briket Lignit–Biomassa Kapasitas 5 T Jam ⁻¹	67
Tabel 4.19 Biaya Operasi Tahunan (OPEX) dan Kebutuhan Modal Kerja Pabrik	68

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1 Rangkaian Alat Pirolisis	17
Gambar 3.2 Diagram Alir Perancangan Briket Batubara	19
Gambar 4.1 Perubahan Parameter Fisik Biomassa Kayu Ulin Sebelum dan Sesudah <i>Pre-treatment</i>	29
Gambar 4.2 Distribusi Produk Pirolisis (<i>Char</i> , Tar, dan <i>Bio-oil</i>)	31
Gambar 4.3 Efisiensi Penurunan Sulfur pada <i>Char</i> , Tar, dan <i>Bio-oil</i>	33
Gambar 4.4 Uji Kekuatan Tekan Briket	35
Gambar 4.5 Uji Densitas Briket	36
Gambar 4.6 Uji <i>Mechanical Durability</i> Briket	37
Gambar 4.7 Uji <i>Drop Test</i> Briket	38
Gambar 4.8 Perbandingan Sifat Fisik Briket	39
Gambar 4.9 Diagram Radar Perbandingan Sifat Kimia Empat Komposisi Briket	38
Gambar 4.10 Spektrum FT-IR ter-normalisasi char, tar, dan <i>bio-oil</i> hasil pirolisis lignit pada rentang $4000 - 400 \text{ cm}^{-1}$	45
Gambar 4.11 Spektrum FT-IR ternormalisasi briket BA-Tar dan BSG-Bio dibanding <i>char</i> referensi ($4000-400 \text{ cm}^{-1}$)	46
Gambar 4.12 Morfologi Permukaan Briket “BA-Tar” pada Perbesaran $500\times$	48
Gambar 4.13 Perbandingan Emisi SO_2 dan NO_x pada Empat Komposisi Briket	51
Gambar 4.14 Perbandingan Waktu Nyala dan Sisa Abu Empat Komposisi Briket	53
Gambar 4.15 Perbandingan Intensitas Emisi Gas Rumah Kaca (CO_2 -Ekivalen) dan <i>Cumulative Energy Demand</i> (CED)	59
Gambar 4.16 Skema siklus berkelanjutan briket lignit–biomassa kayu ulin	60
Gambar 4.17 Perbandingan Emisi CO_2e (<i>Cradle to Gate</i>) Berbagai Jenis Bahan Bakar	63
Gambar 4.18 Kurva arus kas kumulatif proyek briket lignit–biomassa selama 15 tahun operasi	68