

SKRIPSI

ANALISIS KUALITAS *SYNGAS*
PADA PROSES GASIFIKASI *UPDRAFT*
MENGGUNAKAN ARANG CANGKANG KELAPA SAWIT
DENGAN PENAMBAHAN *SUPERHEATED STEAM*



Diajukan Sebagai Persyaratan Mata Kuliah
Skripsi dan Publikasi Ilmiah Program Sarjana Terapan (DIV)
di Jurusan Teknik Kimia Program Studi DIV Teknik Energi

Oleh:
Sigi Pegi Ramadhani
NIM 062240412342

POLITEKNIK NEGERI SRIWIJAYA
PALEMBANG
2026

HALAMAN PENGESAHAN SKRIPSI
ANALISIS KUALITAS SYNGAS
PADA PROSES GASIFIKASI UPDRAFT
MENGGUNAKAN ARANG CANGKANG KELAPA SAWIT
DENGAN PENAMBAHAN *SUPERHEATED STEAM*

Oleh:

Sigi Pegi Ramadhani
NIM 0622 4041 2342

Palembang, Juli 2026

Menyetujui,

Dosen Pembimbing I



Zurohaina, S.T., M.T.

NUPTK 4050745646230103

Dosen Pembimbing II



Indah Pratiwi, S.S.T., M.T.

NUPTK 2555769670230242

Mengetahui,

Ketua Jurusan

Teknik Kimia



Tahdid, S.T., M.T.

NIP 197204131997021001

Koordinator Program Studi

DIV Teknik Energi



Dr. Ir. Lety Trisnaliani, S.T., M.T.

NIP 197804032012122002



KEMENTERIAN PENDIDIKAN, TINGGI, SAINS, DAN TEKNOLOGI
POLITEKNIK NEGERI SRIWIJAYA
JURUSAN TEKNIK KIMIA
PROGRAM STUDI DIV TEKNIK ENERGI
Jalan Srijaya Negara Bukit Besar Palembang 30139
Telp.0711-353414, Laman: <http://polsri.ac.id>, Pos El: d4energi@polsri.ac.id

Telah diseminarkan di hadapan Tim Penguji
di Program Diploma IV – Teknik Energi Jurusan Teknik Kimia
Politeknik Negeri Sriwijaya
pada tanggal 01 Juli 2026

Tim Penguji:

1. Ir. Irawan Rusnadi, M.T.
NUPTK 6534745646130122
2. Ahmad Zikri, S.T., M.T.
NUPTK 5174608839552204
3. Ir. Iriani Reka Septiana, S.S.T., M.T.
NUPTK 5254769670230293

Tanda Tangan

()
()
()

Palembang, 15 Juli 2026

Mengetahui,
Koordinator Program Studi
DIV Teknik Energi



Dr. Ir. Lety Trisnaliani, S.T., M.T.
NIP 197804032012122002



KEMENTERIAN PENDIDIKAN TINGGI, SAINS,
DAN TEKNOLOGI
POLITEKNIK NEGERI SRIWIJAYA
JURUSAN TEKNIK KIMIA

Jalan Srijaya Negara Bukit Besar – Palembang 30139
Telepon (0711) 353414 Laman: <http://polsri.ac.id> Pos El: kimia@polsri.ac.id

SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

nama : Sigi Pegi Ramadhani

NIM : 062240412342

Program Studi : DIV Teknik Energi

Jurusan : Teknik Kimia

menyatakan bahwa dalam penelitian Tugas Akhir dengan judul “Analisis Kualitas Syngas pada Proses Gasifikasi *Updraft* Menggunakan Arang Cangkang Kelapa Sawit dengan Penambahan *Superheated Steam*” tidak mengandung unsur PLAGIAT sesuai dengan PERMENDIKNAS No. 17 Tahun 2010.

Bila pada kemudian hari terdapat unsur-unsur plagiat dalam penelitian ini, saya bersedia diberikan sanksi peraturan yang berlaku.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya dan tidak ada paksaan dari pihak mana pun.

Palembang, 21 Juli 2026

Mengetahui,

Dosen Pembimbing II

Indah Pratiwi, S.S.T., M.T.

NUPTK 2555769670230242

Penulis

Sigi Pegi Ramadhani

NIM 062240412342

Dosen Pembimbing I

Zurohalina, S.T., M.T.

NUPTK 4050745646230103



RINGKASAN

ANALISIS KUALITAS SYNGAS PADA PROSES GASIFIKASI *UPDRAFT* MENGGUNAKAN ARANG CANGKANG KELAPA SAWIT DENGAN PENAMBAHAN *SUPERHEATED STEAM*

(Sigi Pegi Ramadhani, 2026, Skripsi, 99 Halaman, 36 Tabel, 31 Gambar)

Indonesia memiliki ketergantungan tinggi terhadap bahan bakar fosil sebesar lebih dari 85% bauran energi primer nasional, sementara realisasi energi baru terbarukan baru mencapai 14,65% dari target 23%. Cangkang kelapa sawit sebagai limbah padat industri kelapa sawit berpotensi dimanfaatkan sebagai bahan baku gasifikasi untuk menghasilkan *syngas*. Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh variasi laju alir injeksi air terhadap komposisi *syngas*, nilai *Lower Heating Value* (LHV), dan *Cold Gas Efficiency* (CGE) pada proses gasifikasi *updraft* menggunakan arang cangkang kelapa sawit dengan penambahan *superheated steam*. Penelitian dilakukan menggunakan reaktor *updraft* berkapasitas 10 kg dengan bahan baku arang cangkang kelapa sawit hasil karbonisasi pada suhu 500°C selama 3 jam. Variasi laju alir injeksi air sebesar 0, 2, 4, 6, dan 8 ml/menit diinjeksikan langsung ke zona pembakaran reaktor sehingga terkonversi menjadi *superheated steam* secara *in situ*. *Syngas* dianalisis pada dua jalur, yaitu *bypass* dan via *wet scrubber* berbasis larutan NaOH, menggunakan *Multi Gas Detector Analyzer*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan laju alir injeksi air dari 0 hingga 8 ml/menit meningkatkan kandungan H₂ dari 10,20% menjadi 14,00% (*bypass*) dan dari 11,50% menjadi 15,40% (via *wet scrubber*), serta menurunkan kandungan CO dari 28,40% menjadi 26,50% (*bypass*) akibat dominasi reaksi *water-gas shift*. Nilai LHV *syngas* meningkat dari 5.082,35 menjadi 5.503,30 kJ/Nm³ (*bypass*) dan dari 5.003,74 menjadi 5.823,56 kJ/Nm³ (via *wet scrubber*), seluruhnya melampaui ambang minimum aplikasi mesin pembakaran dalam sebesar 2.500 kJ/Nm³. Nilai CGE menunjukkan tren meningkat hingga laju alir 6 ml/menit dengan nilai optimum 38,78% (*bypass*), kemudian menurun pada laju alir 8 ml/menit akibat pendinginan zona pembakaran yang berlebihan. Kondisi operasi optimum dicapai pada laju alir 6 ml/menit dengan durasi nyala generator terpanjang, yaitu 5 jam 19 menit. Penelitian ini menunjukkan bahwa injeksi air secara *in situ* merupakan dapat meningkatkan kualitas *syngas* dari arang cangkang kelapa sawit sebagai sumber energi terbarukan berbasis limbah perkebunan.

Kata kunci: gasifikasi *updraft*, arang cangkang kelapa sawit, *superheated steam*, *syngas*, *Lower Heating Value* (LHV), *Cold Gas Efficiency* (CGE)

ABSTRACT

ANALYSIS OF SYNGAS QUALITY IN THE UPDRAFT GASIFICATION PROCESS USING PALM KERNEL SHELL CHAR WITH THE ADDITION OF SUPERHEATED STEAM

(Sigi Pegi Ramadhani, 2026, Undergraduate Thesis, 99 Pages, 36 Tables, 31 Figures)

Indonesia has a high dependence on fossil fuels, accounting for more than 85% of the national primary energy mix, while the realization of new and renewable energy has only reached 14.65% of the 23% target. Palm kernel shell, as a solid waste product of the palm oil industry, has the potential to be utilized as a gasification feedstock to produce syngas. This study aims to analyze the effect of water injection flow rate variation on syngas composition, Lower Heating Value (LHV), and Cold Gas Efficiency (CGE) in the updraft gasification process using palm kernel shell charcoal with the addition of superheated steam. The research was conducted using a 10 kg capacity updraft reactor with palm kernel shell charcoal feedstock produced through carbonization at 500°C for 3 hours. Water injection flow rate variations of 0, 2, 4, 6, and 8 ml/minute were injected directly into the combustion zone of the reactor, converting in situ into superheated steam. Syngas was analyzed through two pathways, namely bypass and via a NaOH-based wet scrubber, using a Multi Gas Detector Analyzer. The results showed that increasing the water injection flow rate from 0 to 8 ml/minute increased the H₂ content from 10.20% to 14.00% (bypass) and from 11.50% to 15.40% (via wet scrubber), and decreased the CO content from 28.40% to 26.50% (bypass) due to the dominance of the water-gas shift reaction. The syngas LHV value increased from 5,082.35 to 5,503.30 kJ/Nm³ (bypass) and from 5,003.74 to 5,823.56 kJ/Nm³ (via wet scrubber), all exceeding the minimum threshold for internal combustion engine applications of 2,500 kJ/Nm³. The CGE value showed an increasing trend up to a flow rate of 6 ml/minute, with an optimum value of 38.78% (bypass), then decreased at a flow rate of 8 ml/minute due to excessive cooling of the combustion zone. The optimum operating condition was achieved at a flow rate of 6 ml/minute, with the longest generator burn duration of 5 hours 19 minutes. This study demonstrates that in situ water injection can improve the quality of syngas derived from palm kernel shell charcoal as a renewable energy source based on plantation waste.

Keywords: updraft gasification, palm kernel shell charcoal, superheated steam, syngas, Lower Heating Value (LHV), Cold Gas Efficiency (CGE)

MOTTO

“...Allah will raise those who have believed among you and those who were given knowledge, by degrees. And Allah is Aware of what you do.”

(Surah Al-Mujadila, 58:11)

And throughout life, it's learning process.

Be a lifelong learner.

KATA PENGANTAR

Segala puji bagi Allah SWT yang telah menganugerahkan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi berjudul “Analisis Kualitas *Syngas* pada Proses Gasifikasi *Updraft* Menggunakan Arang Cangkang Kelapa Sawit dengan Penambahan *Superheated Steam*” ini dengan lancar. Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat kelulusan Program Sarjana Terapan (DIV) di Jurusan Teknik Kimia, Program Studi Teknik Energi, Politeknik Negeri Sriwijaya.

Pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan terima kasih kepada pihak-pihak yang telah membantu, membimbing, dan mendukung kelancaran penyusunan skripsi ini. Adapun pihak-pihak tersebut antara lain:

1. Ir. Irawan Rusnadi, M.T. selaku Direktur Politeknik Negeri Sriwijaya
2. Dr. Yusri, S.Pd., M.Pd. selaku Wakil Direktur I Politeknik Negeri Sriwijaya
3. Tahdid, S.T., M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Kimia Politeknik Negeri Sriwijaya
4. Isnandar Yunanto, S.ST., M.T. selaku Sekretaris Jurusan Teknik Kimia Politeknik Negeri Sriwijaya
5. Dr. Ir. Lety Trisnaliani, S.T., M.T. selaku Koordinator Program Studi DIV Teknik Energi Politeknik Negeri Sriwijaya
6. Zurohaina, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing I
7. Indah Pratiwi, S.S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing II
8. Ir. Sahrul Effendy A., M.T. selaku Dosen Pembimbing Akademik
9. Bapak/ Ibu Dosen beserta staf jajarannya di Jurusan Teknik Kimia Program Studi DIV Teknik Energi
10. Kedua orang tua dan saudara penulis
11. Ussy Amelia, Siti Ayu Andini, Puteri Rahmasari, dan Alya Honesty Choirani selaku sahabat penulis
12. Tim Kelompok Penelitian Gasifikasi
13. Pengurus UKM MARS Tahun 2023 sampai dengan 2025
14. Teman-teman kelas EGA Angkatan 2022

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu, penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang membangun dari pembaca, yang tentunya akan mendorong penulis untuk berkarya lebih baik lagi pada

kesempatan yang akan datang. Semoga penelitian tentang gasifikasi arang cangkang kelapa sawit dengan penambahan *superheated steam* sebagai agen gasifikasi memberikan kontribusi bagi pengembangan energi terbarukan di Indonesia, khususnya dalam pemanfaatan limbah Perkebunan menjadi sumber energi yang bernilai.

Palembang, Juli 2026

Penulis

Sigi Pegi Ramadhani

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
HALAMAN PENGESAHAN PENGUJI	iii
SURAT PERNYATAAN	iv
RINGKASAN	iii
ABSTRACT	vi
MOTTO	vii
KATA PENGANTAR.....	viii
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Tujuan Penelitian.....	4
1.3 Manfaat Penelitian.....	4
1.4 Perumusan Masalah.....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1 Landasan Teori	6
2.2.1 Biomassa	6
2.2.2 Cangkang Kelapa Sawit	7
2.2.3 Karbonisasi Biomassa	8
2.2.4 Gasifikasi	10
2.2.5 Injeksi Uap <i>Superheated</i> ke Zona Pembakaran	18
2.2.6 <i>Wet Scrubber</i>	19
2.2.7 Pemanfaatan <i>Syngas</i> sebagai Bahan Bakar Mesin Pembakaran Dalam (<i>Internal Combustion Engine</i>).....	20
2.2.8 Perhitungan	21
2.2 Penelitian Terdahulu	25
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	29
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	29
3.2 Bahan dan Alat	29
3.2.1 Bahan	29
3.2.2 Alat.....	29
3.3 Diagram Alir Proses Gasifikasi	34
3.4 Perlakuan dan Rancangan Percobaan	36
3.3.1 Perlakuan Percobaan	36
3.3.2 Rancangan Percobaan	37
3.5 Diagram Alir Penelitian.....	38
3.6 Prosedur Percobaan	38
3.5.1 Persiapan Bahan Baku	38
3.5.2 Karbonisasi Cangkang Kelapa Sawit.....	39
3.5.3 Gasifikasi	39
3.5.4 Pengambilan Data <i>Gasifier</i>	40
3.5.5 Koneksi ke Generator.....	41
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	42

4.1	Data Pengamatan	42
4.2	Pembahasan	45
4.2.1	Analisis Pengaruh Laju Alir Injeksi Air Terhadap Komposisi <i>Syngas</i>	45
4.2.2	Analisis Pengaruh Laju Alir Injeksi Air Terhadap <i>Lower Heating Value</i> (LHV) Syngas	50
4.2.3	Analisis Pengaruh Laju Alir Injeksi Air Terhadap <i>Cold Gas Efficiency</i> (CGE)	51
BAB V	KESIMPULAN DAN SARAN	54
5.1	Kesimpulan.....	54
5.2	Saran	54
	DAFTAR PUSTAKA.....	55
	LAMPIRAN.....	58

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
2.1	Komposisi Lignoselulosa Cangkang Kelapa Sawit 7
2.2	Komposisi Unsur Cangkang Kelapa Sawit 8
2.3	Analisis Proksimat Arang Cangkang Kelapa Sawit 9
2.4	Analisis Ultimat Arang Cangkang Kelapa Sawit 9
2.5	Kondisi Operasi Gasifikasi Biomassa 10
2.6	Reaksi Kimia dan Mekanisme Proses Gasifikasi 12
2.7	Rentang Komposisi <i>Syngas</i> 14
2.8	Penelitian Terdahulu 25
3.1	Variabel Penelitian 36
3.2	Rancangan Percobaan 37
4.1	Data Komposisi Senyawa <i>Syngas</i> Jalur <i>Bypass</i> 42
4.2	Data Komposisi Senyawa <i>Syngas</i> Jalur <i>Wet Scrubber</i> 42
4.3	Data Analisis Ultimat Arang Cangkang Kelapa Sawit 43
4.4	Data Analisis Proksimat Arang Cangkang Kelapa Sawit 43
4.5	Data Massa Operasi Gasifikasi 43
4.6	Data Profil Temperatur Operasi Gasifikasi 44
4.7	Data Uji Generator 44
4.8	AFR dan ER Aktual Gasifikasi 44
4.9	Hasil Perhitungan Nilai LHV dan CGE Jalur <i>Bypass</i> 45
4.10	Hasil Perhitungan Nilai LHV dan CGE Jalur <i>Wet Scrubber</i> 45
L.1.1	Data Komposisi Senyawa <i>Syngas Bypass</i> 58
L.1.2	Data Komposisi Senyawa <i>Syngas</i> Via <i>Wet Scrubber</i> 58
L.1.3	Data Analisis Ultimat Arang Cangkang Kelapa Sawit 58
L.1.4	Data Analisis Proksimat Arang Cangkang Kelapa Sawit 59
L.1.5	Data Massa Operasi Gasifikasi 59
L.1.6	Data Profil Temperatur Operasi Gasifikasi 59
L.1.7	Data Nyala Generator 62
L.2.1	Perhitungan <i>Steam-to-Biomass Ratio</i> (Rasio S/B) 64
L.2.2	Perhitungan <i>Fuel Consumption Rate</i> (FCR) 65
L.2.3	Komposisi dan Mol Bahan Bakar 65
L.2.4	AFR dan ER Aktual 68
L.2.5	Perhitungan Laju Alir Volume <i>Syngas</i> pada Kondisi STP 69
L.2.6	Nilai LHV dari Senyawa Gas Mampu Bakar 71
L.2.7	LHV <i>Syngas</i> Jalur <i>Bypass</i> 72
L.2.8	LHV <i>Syngas</i> Jalur <i>Wet Scrubber</i> 72
L.2.9	Rekapitulasi Nilai Rata-Rata <i>Cold Gas Efficiency</i> (CGE) 74

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
2.1 Cangkang Kelapa Sawit	7
2.2 Skematik <i>Throated-type Downdraft Gasifier</i>	15
2.3 Skematik <i>Updraft Gasifier</i>	16
2.4 Skematik <i>Crossdraft Gasifier</i>	17
3.1 Desain 3D Alat Gasifikasi Setelah <i>Upgrading</i>	30
3.2 Komponen Alat Gasifikasi Tampak (a) Depan dan (b) Belakang	31
3.3 Diagram Alir Proses Gasifikasi	34
3.4 Diagram Alir Proses Penelitian	38
4.1 Grafik Pengaruh Laju Alir Injeksi Air Terhadap H_2	46
4.2 Grafik Pengaruh Laju Alir Injeksi Air Terhadap CO	47
4.3 Grafik Pengaruh Laju Alir Injeksi Air Terhadap CO_2	48
4.4 Grafik Pengaruh Laju Alir Injeksi Air Terhadap CH_4	49
4.5 Grafik Pengaruh Laju Alir Injeksi Air Terhadap <i>Lower Heating Value</i> (LHV) <i>Syngas</i>	50
4.6 Grafik Pengaruh Laju Alir Injeksi Air Terhadap <i>Cold Gas Efficiency</i> (CGE)	52
L.3.1 Membuat Larutan <i>Wet Scrubber</i>	75
L.3.2 Menimbang Bahan Baku	75
L.3.3 Mengisi Air Injektor	75
L.3.4 Kalibrasi Injektor Air	75
L.3.5 Mengatur Sistem <i>Gas Cleaning</i>	75
L.3.6 Mengayak Bahan Baku	75
L.3.7 Memasukkan Bahan Baku	76
L.3.8 Mengukur Kecepatan Udara Input Reaktor	76
L.3.9 Menyulut Api ke Reaktor	76
L.3.10 Mengambil Sampel <i>Syngas</i>	76
L.3.11 Menghidupkan Generator	76
L.3.12 Mengeluarkan Sisa Bahan Baku dan Abu	76
L.3.13 Mengukur Kuat Arus Lampu	77
L.3.14 Nyala Api (Biru)	77
L.3.15 Nyala Api (Biru) (2)	77
L.3.16 <i>Slag</i> dari Reaktor	77
L.3.17 Alat Gasifikasi <i>Updraft</i>	77

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Halaman
I Data Pengamatan	58
II Perhitungan	64
III Dokumentasi.....	75
IV Surat-Surat	78