

**TESIS**  
**PRODUKSI SYNGAS MELALUI GASIFIKASI**  
**KATALITIK LIMBAH TANDAN KOSONG KELAPA**  
**SAWIT MENGGUNAKAN KATALIS BENTONIT**  
**TERPILAR LOGAM Al-Cr**



**ATIKA RAHAYU**  
**03012622226003**

**PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK KIMIA**  
**JURUSAN TEKNIK KIMIA**  
**FAKULTAS TEKNIK**  
**UNIVERSITAS SRIWIJAYA**  
**2024**

**TESIS**  
**PRODUKSI SYNGAS MELALUI GASIFIKASI**  
**KATALITIK LIMBAH TANDAN KOSONG KELAPA**  
**SAWIT MENGGUNAKAN KATALIS BENTONIT**  
**TERPILAR LOGAM Al-Cr**

**Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mendapatkan**  
**Gelar Magister Teknik (M.T.) Pada Fakultas Teknik**  
**Universitas Sriwijaya**



**ATIKA RAHAYU**  
**03012622226003**

**PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK KIMIA**  
**JURUSAN TEKNIK KIMIA**  
**FAKULTAS TEKNIK**  
**UNIVERSITAS SRIWIJAYA**  
**2024**

## HALAMAN PENGESAHAN

# PRODUKSI SYNGAS MELALUI GASIFIKASI KATALITIK LIMBAH TANDAN KOSONG KELAPA SAWIT MENGGUNAKAN KATALIS BENTONIT TERPILAR LOGAM Al-Cr

## TESIS

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mendapatkan  
Gelar Magister Teknik (M.T.) Pada Fakultas Teknik  
Universitas Sriwijaya

Palembang, Juni 2024

Menyetujui,

Pembimbing I,



Prof. Dr. Ir. H. M. Faizal, DEA.

NIP. 195805141984031001

Pembimbing II,



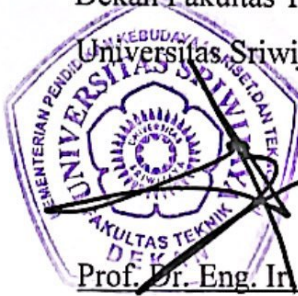
Dr. Ir. David Bahrin, S.T., M.T.

NIP. 198010312005011003

Mengetahui,

Dekan Fakultas Teknik

Universitas Sriwijaya



Prof. Dr. Eng. Ir. H. Joni Arliansyah, M.T.

NIP. 196706151995121002

✓Ketua Jurusan Teknik Kimia



Dr. Tuti Indah Sari, S.T., M.T.

NIP. 197502012000122001

## HALAMAN PERSETUJUAN

Karya tulis ilmiah berupa Laporan Tesis ini dengan Judul "Produksi Syngas Melalui Gasifikasi Katalitik Tandan Kosong Kelapa Sawit Menggunakan Katalis Bentonit Terpilar Logam Al-Cr" telah dipertahankan di hadapan Tim Penguji Karya Tulis Ilmiah Program Studi Magister Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya pada tanggal 14 Juni 2024.

Palembang, Juni 2024

Tim Penguji Karya Tulis Ilmiah berupa Laporan Tesis

Ketua :

1. Prof. Ir. Subriyer Nasir, M.S., Ph.D  
NIP. 196009091987031004

(  )

Anggota

1. Dr. Tuti Indah Sari, S.T., M.T  
NIP. 197502012000122001
2. Dr. Selpiana, S.T., M.T  
NIP. 197809192003122001

(  )  
(  )

Mengetahui,

Dekan Fakultas Teknik  
Universitas Sriwijaya



Prof. Dr. Eng. Ir. H. Joni Arliansyah, M.T.  
NIP. 196706151995121002

✓ Ketua Jurusan Teknik Kimia

(  )  
Dr. Tuti Indah Sari, S.T., M.T.  
NIP. 197502012000122001

## HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Atika Rahayu

NIM : 03012622226003

Judul : Produksi Syngas Melalui Gasifikasi Katalitik Limbah Tandan Kosong Kelapa Sawit Menggunakan Katalis Bentonit Terpilar Logam Al-Cr

Menyatakan bahwa Laporan Tesis saya merupakan hasil karya sendiri didampingi tim pembimbing dan bukan hasil penjiplakan/*plagiat*. Apabila ditemukan unsur penjiplakan/*plagiat* dalam Laporan Tesis ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik dari Universitas Sriwijaya sesuai aturan yang berlaku.

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



Palembang, Juni 2024  
Yang Membuat Pernyataan



Atika Rahayu  
NIM. 03012622226003

## RINGKASAN

### PRODUKSI SYNGAS MELALUI GASIFIKASI KATALITIK LIMBAH TANDAN KOSONG KELAPA SAWIT MENGGUNAKAN KATALIS BENTONIT TERPILAR LOGAM Al-Cr

Karya tulis ilmiah berupa Tesis, 24 Juni 2024

Atika Rahayu, Dibimbing Oleh Prof. Dr. Ir. H. M. Faizal, DEA dan Dr. Ir. David Bahrin, S.T., M.T

Synthetic Gas Production through Catalytic Gasification of Palm Empty Fruit Bunch (PEFB) Waste Using Al-Cr Metal Pillared Bentonite Catalyst

xiv + 91 Halaman, 8 Tabel, 27 Gambar, 22 Lampiran

## RINGKASAN

Peningkatan produksi limbah tandan kosong kelapa sawit yang tinggi pada industri kelapa sawit belum dimanfaatkan secara maksimal. Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) harus diolah lebih lanjut dengan tujuan menurunkan pencemaran dan menambah nilai guna. Tujuan penelitian ini adalah untuk menghasilkan produk syngas dengan memanfaatkan limbah TKKS menggunakan katalis bentonit terpillar logam Al-Cr. Proses pilarisasi bentonit menggunakan logam Al-Cr bertujuan untuk menambah luas permukaan spesifik, jarak basal, dan keasaman permukaan sehingga meningkatkan aktivitas katalitik katalis untuk proses gasifikasi selanjutnya. Gasifikasi dilakukan pada temperatur 450, 500, 550, 600°C. Pada penambahan katalis bentonit terpillar logam Al-Cr, konsentrasi H<sub>2</sub> telah meningkat secara signifikan. Pengaruh kenaikan temperatur dapat meningkatkan kandungan H<sub>2</sub> dengan mengkonsumsi CO dalam batas waktu tertentu. Pada temperatur 600°C untuk variasi 20% wt katalis bentonit terpillar logam Al-Cr menjadi kondisi kerja terbaik dalam menghasilkan syngas pada gasifikasi TKKS. Efisiensi gasifikasi ditinjau dari nilai rasio H<sub>2</sub>/CO yang tinggi sebesar 1,96. Pada nilai kalor ditinjau dari nilai HHV dan LHV optimum yaitu 16,60 MJ/Nm<sup>3</sup> dan 14,92 MJ/Nm<sup>3</sup>. Gasifikasi TKKS menggunakan katalis bentonit terpillar logam Al-Cr layak untuk produksi bahan bakar ramah lingkungan.

**Kata Kunci:** TKKS, pilarisasi, bentonit terpillar logam Al-Cr, gasifikasi, energi

Kepustakaan: 30 (2009-2022)

## SUMMARY

### SYNTHETIC GAS PRODUCTION CATALYTIC GASIFICATION OF PALM EMPTY FRUIT BUNCH WASTE USING Al-Cr METAL PILLARED BENTONITE CATALYST

Scientific paper in the form of Tesis, June 24<sup>th</sup>, 2024

Atika Rahayu, Supervised by Prof. Dr. Ir. H. M. Faizal, DEA and Dr. Ir. David Bahrin, S.T., M.T

Produksi Syngas Melalui Gasifikasi Katalitik Limbah Tandan Kosong Kelapa Sawit Menggunakan Katalis Bentonit Terpillar Logam Al-Cr

xiv + 91 Pages, 8 Tables, 27 Pictures, 22 Appendix

### SUMMARY

The large increase in production of palm empty fruit bunch waste in the palm industry has not been utilized optimal. Palm Empty Fruit Bunch (PEFB) must be further processed with the aim of reducing pollution and increasing use value. The aim of this research is to produce syngas products by utilizing PEFB waste using an Al-Cr metal pillared bentonite catalyst. The bentonite pillarization process using Al-Cr metal aims to increase the specific surface area, basal distance, and surface acidity thereby increasing the catalytic activity of the catalyst for the subsequent gasification process. Gasification is carried out at temperatures of 450, 500, 550, 600°C. The addition of Al-Cr metal pillared bentonite catalyst, the H<sub>2</sub> concentration has increased significantly. The effect of increasing temperature can increase the H<sub>2</sub> content by consuming CO within a certain limit time. At a temperature of 600°C for variation of 20% wt, the Al-Cr metal pillared bentonite catalyst is the best working condition in producing syngas in PEFB gasification. Gasification efficiency is seen from the high H<sub>2</sub>/CO ratio value of 1.96. The calorific value in terms of the optimum HHV and LHV values is 16.60 MJ/Nm<sup>3</sup> and 14.92 MJ/Nm<sup>3</sup>. PEFB gasification using an Al-Cr metal pillared bentonite catalyst is suitable for the production of good environmentally fuel.

**Keywords:** PEFB, pillarization, Al-Cr metal pillared bentonite, gasification, energy.

Citations: 30 (2009-2022)

## KATA PENGANTAR

Dengan mengucapkan Puji syukur kepada Allah Yang Maha Esa karena atas karunia-Nya, sehingga penyusunan laporan Tesis dengan judul **“Produksi Syngas Melalui Gasifikasi Katalitik Limbah Tandan Kosong Kelapa Sawit Menggunakan Katalis Bentonit Terpillar Logam Al-Cr”** ini dapat terselesaikan. Laporan tesis ini dibuat sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan Magister pada Program Studi Teknik Kimia, Bidang Kajian Utama Teknologi Lingkungan, Program Pascasarjana, Universitas Sriwijaya.

Pelaksanaan penelitian, proses penulisan dan penyelesaian laporan hasil penelitian ini dapat berjalan dengan baik karena adanya dukungan dari berbagai pihak yang turut memberikan bantuan baik berupa pikiran maupun dukungan moral dan spiritual, perkenankan penulis untuk menyampaikan ucapan terima kasih yang tulus dan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada:

1. Allah SWT yang selalu memberikan nikmat, rahmat serta hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan laporan tesis ini.
2. Ayah, ibu, dan keluarga tercinta yang telah mendukung tanpa henti baik dalam dukungan spiritual, moral dan finansial.
3. Prof. Dr. Ir. H. M. Faizal, DEA dan Dr. Ir. David Bahrin, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing I dan Pembimbing II yang telah sangat membantu selesainya tesis ini dari awal hingga akhir.
4. Dr. Tuti Indah Sari, S.T., M.T selaku Ketua Jurusan Teknik Kimia.
5. Dr. Selpiana, S.T., M.T. selaku Ketua Program Studi Magister Teknik Kimia.

Palembang,      Juni 2024  
Penulis,

Atika Rahayu



## DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN PENGESAHAN.....	i
RINGKASAN .....	ii
SUMMARY .....	iii
KATA PENGANTAR .....	iv
DAFTAR ISI.....	v
DAFTAR LAMPIRAN.....	viii
DAFTAR TABEL.....	ix
DAFTAR GAMBAR .....	x
DAFTAR ISTILAH DAN SINGKATAN .....	xii
DAFTAR SIMBOL.....	xiii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang .....	1
1.2. Rumusan Masalah .....	3
1.3. Tujuan Penelitian.....	4
1.4. Hipotesa .....	4
1.5. Ruang Lingkup Penelitian.....	4
1.6. Manfaat Penelitian .....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1. Tandan Kosong Kelapa Sawit.....	6
2.2. Katalis .....	8
2.3. Bentonit .....	11
2.4. Pilarisasi logam Al-Cr.....	14
2.5. Gasifikasi .....	16

2.5.1. Faktor – Faktor dalam Mempengaruhi Proses Gasifikasi.....	16
2.5.2. Tahapan Gasifikasi.....	18
2.5.3. Kebutuhan Medium Gasifikasi .....	22
2.5.4. Efisiensi Gasifikasi .....	22
2.5.5. Jenis Reaktor Pada Gasifikasi .....	23
2.6. Penelitian Terdahulu .....	25
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN .....</b>	<b>27</b>
3.1. Waktu dan Tempat Penelitian .....	27
3.2. Alat dan Bahan Penelitian.....	27
3.2.1. Alat.....	27
3.2.2. Bahan .....	27
3.2.3. Instrumen dan Alat Penunjang.....	28
3.3. Rancangan Penelitian .....	28
3.3.1. Variabel dan Matriks Penelitian.....	28
3.3.2. Langkah – Langkah Penelitian.....	28
3.3.3. Prosedur Penelitian .....	30
3.3.3.1. Gasifikasi <i>Apparatus</i> .....	30
3.3.3.2. Persiapan Bahan Baku.....	31
3.3.3.3. Uji Karakteristik Bahan Baku .....	31
3.3.3.4. Pilarisasi Logam Al-Cr terhadap Bentonit .....	32
3.3.3.5. Uji Karakteristik Katalis .....	34
3.3.3.6. Gasifikasi Tandan Kosong Kelapa Sawit.....	34
3.3.3.7. Analisis Hasil Gasifikasi Tandan Kosong Kelapa Sawit .....	34
3.3.4. Analisis Data Produk Gas Sintesis.....	35
3.3.4.1. <i>Rasio Combustible Gas</i> .....	35
3.3.4.2. Rasio H <sub>2</sub> /CO .....	35

3.3.4.3. Nilai Kalor Gas Sintesis .....	35
3.3.4.4. <i>Carbon Conversion Efficiency</i> (CCE).....	36
3.3.4.5. <i>Cold Gas Efficiency</i> (CGE) .....	36
3.4. Diagram Alir Penelitian .....	36
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>38</b>
4.1. Karakteristik Katalis Bentonit Terpilar Logam Al-Cr .....	38
4.2. Pengaruh Temperatur terhadap Volume Produksi Syngas pada Gasifikasi TKKS (Non-katalitik) .....	42
4.3. Pengaruh Katalis terhadap Volume Syngas Hasil Gasifikasi .....	44
4.3.1. Pengaruh Bentonit terhadap Volume Syngas Hasil Gasifikasi TKKS .	44
4.3.2. Pengaruh Bentonit Terpilar Logam Al-Cr terhadap Volume Syngas Hasil Gasifikasi TKKS.....	44
4.4. Efisiensi Gasifikasi dan Nilai Kalor Syngas Proses Gasifikasi TKKS .....	46
4.4.1. Efisiensi Gasifikasi TKKS .....	46
4.4.2. Nilai Kalor Syngas Gasifikasi TKKS .....	51
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....</b>	<b>54</b>
5.1. Kesimpulan .....	54
5.2. Saran.....	55
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>56</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>63</b>

## DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Gambar 1. Hasil Uji GC Gasifikasi TKKS .....	65
Gambar 2. Hasil Pemeriksaann Uji SEM Katalis .....	67
Gambar 3. Hasil Pemeriksaann Uji BET Katalis .....	68
Gambar 4. Hasil Pemeriksaan Uji XRD Katalis .....	69
Tabel 1. Hasil uji proksimat dan ultimat tandan kosong kelapa sawit.....	70
Tabel 2. Rasio H <sub>2</sub> /CO pada gasifikasi TKKS variasi temperatur .....	72
Tabel 3. Rasio CG/NCG pada gasifikasi TKKS variasi temperatur .....	72
Tabel 4. Nilai HHV pada gasifikasi TKKS variasi temperatur.....	73
Tabel 5. Nilai LHV pada gasifikasi TKKS variasi temperatur .....	73
Tabel 6. Nilai CCE pada gasifikasi TKKS variasi temperatur.....	73
Tabel 7. Nilai CGE pada gasifikasi TKKS variasi temperatur .....	74
Gambar 5. Stock Tandan Kosong Kelapa Sawit di PT. Sriwijaya Palm Oil .....	75
Gambar 6. Tempat Pengambilan Tandan Kosong Kelapa Sawit.....	75
Gambar 7. Penjemuran Tandan Kosong Kelapa Sawit.....	76
Gambar 8. Alat Gasifikasi.....	76
Gambar 9. Katalis yang digunakan dalam proses gasifikasi: (a) Bentonit tanpa aktivasi dan (b) Bentonit terpillar logam Al-Cr .....	76
Gambar 10. Proses persiapan katalis untuk aktivasi .....	77
Gambar 11. Proses input sampel ke dalam alat <i>gasifier</i> .....	77
Gambar 12. Proses pengambilan gas hasil gasifikasi pada saat running .....	77
Gambar 13. Proses pembakaran gas yang didapat pada proses gasifikasi.....	78
Gambar 14. Sampel gas yang ditampung di sampling bag .....	78
Gambar 15. Alat uji GC di laboratorium PT Pupuk Sriwidjaja .....	78

## DAFTAR TABEL

	Halaman
2.1. Karakteristik Tandan Kosong Kelapa Sawit.....	7
2.2. Spesifikasi Penyangga.....	10
2.3. Jenis dan Fungsi Promotor.....	11
2.4. Analisis Kimia Bentonit.....	12
2.5. Penelitian Terdahulu.....	25
3.1. Parameter dan Metode Uji Tandan Kosong Kelapa Sawit.....	31
4.1. Karakteristik Permukaan Katalis.....	39
4.2. Data Ukuran Kristal Rata-Rata.....	42

## DAFTAR GAMBAR

	Halaman
2.1. Tumpukan Tandan Kosong Kelapa Sawit.....	6
2.2. Penurunan Energi Aktivasi .....	8
2.3. Struktur Bentonit .....	12
2.4. Mekanisme Pilarisasi .....	14
2.5. Tahapan dan Reaksi Proses Gasifikasi.....	19
2.6. <i>Updraft Gasifier</i> .....	23
2.7. <i>Crossdraft Gasifier</i> .....	24
2.8. <i>Downdraft Gasifier</i> .....	24
3.1. Tahapan Pilarisasi Bentonit logam Al-Cr .....	29
3.2. Bagan Alir Gasifikasi.....	29
3.3. Alat Gasifikasi.....	30
3.4. Skema Aktivasi Bentonit .....	32
3.5. Skema Pilarisasi Bentonit .....	33
3.6. Diagram Alir Penelitian .....	37
4.1. Hasil uji SEM bentonit terpillar logam Al-Cr .....	38
4.2. Hasil Uji XRD bentonit alam.....	39
4.3. Hasil Uji XRD bentonit terpillar logam Al-Cr.....	40
4.4. Pengaruh Temperatur terhadap Volume Syngas Hasil Gasifikasi TKKS.....	42
4.5. Pengaruh Penambahan Katalis Bentonit terhadap Volume Syngas Hasil Gasifikasi TKKS .....	44
4.6. Pengaruh Temperatur terhadap Penambahan Katalis Bentonit Terpillar Logam Al-Cr 10% wt pada volume syngas Hasil Gasifikasi TKKS .....	46
4.7. Pengaruh Temperatur terhadap Penambahan Katalis Bentonit Terpillar Logam Al-Cr 20% wt pada volume syngas Hasil Gasifikasi TKKS .....	46
4.8. Pengaruh Temperatur terhadap rasio H <sub>2</sub> /CO Syngas Gasifikasi TKKS .....	47
4.9. Pengaruh Temperatur terhadap rasio CG/NCG Syngas Gasifikasi TKKS .....	48

4.10. Pengaruh Temperatur terhadap Efisiensi Gasifikasi (CCE) Syngas Gasifikasi TKKS pada Berbagai Katalis Gas .....	49
4.11. Pengaruh Temperatur terhadap Efisiensi Gasifikasi (CGE) Gasifikasi TKKS pada Berbagai Katalis Gas .....	50
4.12. Pengaruh Temperatur terhadap Nilai HHV Syngas Gasifikasi TKKS pada Berbagai Katalis Gas .....	52
4.13. Pengaruh Temperatur terhadap Nilai LHV Syngas Gasifikasi TKKS pada Berbagai Katalis Gas .....	52

## DAFTAR ISTILAH DAN SINGKATAN

TKKS	Tandan Kosong Kelapa Sawit
ER	<i>Equivalance Rasio</i>
MW	<i>Mega Watt</i>
MJ	<i>Mega Joule</i>
Ha	Hektar
CPO	<i>Crude Palm Oil</i>
LHV	<i>Low Heating Value</i>
HHV	<i>High Heating Value</i>
XRD	<i>X-Ray Diffraction</i>
SEM	<i>Scanning Electron Microscopy</i>
BET	<i>Brunauer Emmerrt Teller</i>
GC	<i>Gas Chromatography</i>
CCE	<i>Carbon Conversion Efficiency</i>
CGE	<i>Cold Gas Efficiency</i>
WGS	<i>Water Gas</i>
FWHM	<i>Full Width at Half Maximum</i>



## DAFTAR SIMBOL

MBb	Laju Komsumsi Bahan Bakar	Kg/s
mBb	Massa Bahan Bakar	Kg
T	Waktu	S
%wt	Persen Berat	gram
LHV <sub>BB</sub>	Lower Heating Value Bahan Bakar	kcal/kg
HHV <sub>BB</sub>	High Heating Value Bahan Bakar	kcal/kg
$\Delta H_f$	Entalpi Pembentukan Standar	kJ/mol
hg	Panas Laten dari Steam	2,260 MJ/kg
$\lambda$	Panjang Gelombang Sinar X	1,54056 Å
D	Ukuran Kristal	nanometer

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan negara berkembang yang mengalami peningkatan kebutuhan energi dan minyak bumi. Berdasarkan Peraturan Presiden Indonesia Nomor 22 Tahun 2017 tentang Rencana Umum Energi Nasional, Peningkatan aktivitas industri dan sarana transportasi menjadi penyebab emisi gas karbondioksida meningkat yang menyebabkan kualitas lingkungan menurun. Sehingga diperlukan peningkatan upaya pengembangan energi baru terbarukan yang menjadi target pemerintah Indonesia yaitu minimal 31% pada Tahun 2050 yang termuat didalam Peraturan Pemerintah Nomor 79 Tahun 2014 tentang Kebijakan Energi Nasional.

Biomassa menjadi sumber energi alternatif yang banyak ditemukan di Indonesia. Indonesia memiliki potensi sebesar 32.654 MW energi dari biomassa namun masih kurang maksimal dalam pemanfaatannya. Biomassa dari industri kelapa sawit merupakan salah satu biomassa yang belum termanfaatkan secara optimal. Pada tahun 2021 produksi minyak kelapa sawit terus bertambah diperkirakan sebesar 49,7 juta ton dengan lahan perkebunan 15,98 juta Ha (Statistik, 2021) berbanding lurus dengan pertumbuhan area lahan kelapa sawit. Hal ini menyebabkan peningkatan produksi limbah seiring bertambahnya produksi kelapa sawit khususnya Sumatera Selatan. Pada setiap pengolahan 1 ton kelapa sawit menghasilkan limbah berupa 23% tandan kosong, 6,5% cangkang, 13% serabut, 50% limbah cair dan 4% lumpur sawit (Ditjen PPHP, 2021).

Tandan kosong kelapa sawit (TKKS) memiliki kandungan *volatile matter* yang lebih tinggi dibanding limbah yang dihasilkan dari tanaman kelapa sawit yaitu cangkang dan serat mesocarp serta memiliki nilai kalor sebesar 19,45 MJ/Kg (Pino dkk., 2020). Biomassa dengan kandungan *volatile matter* yang tinggi cocok untuk dikonversi menjadi gas sintesis dan berpotensi menghasilkan produk gas yang tinggi pada proses gasifikasi (Mufid, 2019). Gasifikasi adalah proses konversi bahan baku berkarbon menjadi energi berupa gas sintesis yang mampu bakar ( $H_2$ ,  $CO_2$ ,  $CH_4$ ) dengan udara terbatas yaitu antara 20% hingga 40% udara stoikiomeri

(Soria-Verdugo dkk., 2019). Gas sintesis dari konversi biomassa melalui gasifikasi yang baik memiliki kandungan  $H_2$  dan  $CO$  yang tinggi dengan kandungan  $CO_2$  yang rendah (Hossain, 2018). Adapun kelebihan proses gasifikasi yaitu dapat digunakan sebagai bahan bakar penggerak generator untuk menghasilkan listrik, ramah lingkungan karena efisiensinya lebih tinggi dibandingkan pembakaran secara langsung serta gas  $CO_2$  yang dihasilkan lebih sedikit (W. Zhang dkk., 2019). Namun walaupun kandungan  $CO_2$  lebih kecil tetap harus dipisahkan karena dapat menurunkan kemampuan bakar pada gas sintesis yang dihasilkan (Sarafraz dkk, 2019).

Efisiensi konversi biomassa melalui proses gasifikasi dipengaruhi oleh suhu operasi gasifier. Efisiensi dengan suhu tinggi akan menguntungkan dalam konversi karbon dan reduksi tar, namun energi yang dibutuhkan tinggi dengan biaya yang cukup mahal (Chen dkk 2021). Tar adalah produk samping yang dihasilkan pada proses gasifikasi berupa cairan kental pekat yang menyebabkan turunnya nilai kalor syngas dan dapat merusak peralatan (Abedi dan Dalai, 2019). Sedangkan pada suhu yang rendah akan menimbulkan permasalahan konversi bahan bakar (Xie dkk., 2019). Sehingga dibutuhkan solusi dalam mempertahankan efisiensi tinggi pada suhu rendah yang dapat meminimalkan produk samping yang terbentuk yaitu dengan penambahan katalis (Andican, 2022). Katalis adalah zat yang digunakan untuk mempercepat laju reaksi dan menurunkan suhu operasi serta ikut dalam mereaksikan kembali tar (Mandal dkk., 2019). Penambahan katalis berupa bentonit pada proses gasifikasi mampu meningkatkan komposisi dan volume gas (Dou, 2016).

Penelitian sebelumnya telah menggunakan tandan kosong kelapa sawit untuk gasifikasi menggunakan bentonit yang dapat mengurangi produk samping berupa tar yang dihasilkan pada konversi biomassa melalui proses gasifikasi (Aprianti, 2022). Bentonit secara luas digunakan sebagai adsorben pada pengolahan limbah cair yang telah dilakukan oleh Pandey (2017). Keunggulan penggunaan bentonit pada gasifikasi yaitu ketersediaan yang melimpah di Indonesia dan harganya yang murah, juga seperti yang diteliti oleh Rabie dkk (2018) dan Ro dkk (2019) bentonit memiliki kandungan  $SiO_2$  dan  $Al_2O_3$  yang dapat meningkatkan yield gas dan menghantarkan panas dengan baik. Namun, bentonit memiliki jarak antar lapisan

sempit karena adanya ion penukar ukuran kecil yang menyebabkan kecilnya jarak antar lapisan bentonit sehingga kurang efektif ( Goodarzi dkk, 2016) sehingga dapat dilakukan rekayasa pori membentuk bentonit terpillar dengan ukuran mesopori atau mikropori melalui metode pilarisasi (Vaccari, 1998).

Pilarisasi adalah proses distribusi logam pada bentonit melalui interkalasi agen pemilar berupa kation hidroksi logam ke dalam antar lapis silika. Pada pemanasan polikation besar ini akan membentuk oksida kluster yang dapat membuka kluster antar lembaran secara permanen menghasilkan sistem pori yang lebih baik lagi (Haerudin dkk., 2010). Beberapa penelitian mengenai gasifikasi TKKS dengan menggunakan katalis bentonit terpillarisasi logam masih terbatas padahal dapat meningkatkan produksi gas sintesis yang lebih berkualitas dari penelitian yang sudah ada. Berdasarkan penelitian sebelumnya ( Fatimah dkk, 2011) menunjukkan bahwa pemilihan logam Al menunjukkan peningkatan luas permukaan bentonit dan tahan pada suhu tinggi sedangkan logam Cr menunjukkan peningkatan sifat keasaman dari katalis bentonit (Widjaya dkk., 2019). Penggabungan pilarisasi logam Al-Cr yang mempunyai luas permukaan dan keasaman yang tinggi diharapkan dapat meningkatkan aktivitas katalitik untuk proses gasifikasi tandan kosong kelapa sawit dalam menghasilkan gas sintesis.

Maka dari itu, penelitian ini bertujuan untuk menghasilkan produksi gas sintesis melalui gasifikasi katalitik limbah tandan kosong kelapa sawit menggunakan bentonit terpillar logam Al-Cr sebagai katalis. Sehingga akan didapatkan kajian pengaruh penggunaan katalis bentonit terpillar logam Al-Cr, temperatur, jumlah katalis, serta kondisi optimum dalam proses gasifikasi TKKS terhadap hasil gas sintesis yang dihasilkan.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Keterbatasan sumber energi dari fosil memiliki keterbatasan karena bersifat tidak dapat diperbarui sehingga harus dicari sumber pengganti energi alternatif lain yang dapat diperbarui yaitu biomassa. Gasifikasi merupakan teknologi yang mampu mengubah tandan kosong kelapa sawit menjadi gas sintesis. Limbah padat tandan kosong kelapa sawit dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi yang dapat menghasilkan gas sintesis melalui gasifikasi katalitik menggunakan bentonit

terpilarisasi logam Al-Cr. Berdasarkan uraian tersebut maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana karakteristik katalis bentonit sesudah terpillar logam Al-Cr?
2. Bagaimana pengaruh temperatur dalam proses gasifikasi TKKS terhadap gas sintesis yang dihasilkan?
3. Bagaimana pengaruh jumlah katalis bentonit terpillar logam Al-Cr dalam proses gasifikasi TKKS terhadap gas sintesis yang dihasilkan?

### **1.3 Tujuan Penelitian**

Secara umum penelitian bertujuan untuk mendapatkan gas sintesis yang berkualitas melalui gasifikasi katalitik limbah tandan kosong kelapa sawit. Adapun tujuan khusus penelitian:

1. Mendapatkan karakteristik katalis bentonit sesudah terpillar logam Al-Cr.
2. Menganalisis pengaruh temperatur dalam proses gasifikasi TKKS terhadap gas sintesis yang dihasilkan.
3. Mengkaji pengaruh jumlah katalis bentonit terpillar logam Al-Cr dalam proses gasifikasi TKKS terhadap gas sintesis yang dihasilkan.

### **1.4 Hipotesa**

Proses gasifikasi melalui reaksi pengeringan, pirolisis, reduksi dan oksidasi dengan rentang temperatur masing-masing proses dengan variasi temperatur reaksi serta jumlah katalis yang diaplikasikan dapat mempengaruhi % konversi dan kualitas gas sintesis yang dihasilkan. Semakin tinggi temperatur reaksi maka % konversi yang dihasilkan semakin besar, keefektifan katalis dalam meningkatkan perolehan gas terutama CO dan H<sub>2</sub> meningkat dengan adanya penambahan jumlah katalis sehingga kualitas gas sintesis semakin baik.

### **1.5 Ruang Lingkup Penelitian**

Batasan penelitian adalah sebagai berikut:

1. Bahan baku pembuatan gas sintesis menggunakan tandan kosong kelapa sawit menggunakan katalis bentonit terpillar logam Al-Cr.

2. Hasil analisa gas sintesis secara fisik seperti gas CO<sub>2</sub>, gas O<sub>2</sub>, gas CO, gas H<sub>2</sub>, dan gas CH<sub>4</sub>
3. Suhu reaksi gasifikasi 450, 500, 550, dan 600 °C
4. Jumlah katalis divariasikan 10% berat dan 20% berat.

### **1.6 Manfaat Penelitian**

Melalui penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat antara lain:

1. Dapat memberikan informasi kepada peneliti, akademisi, mengenai reaksi gasifikasi serta kondisi optimum gasifikasi terhadap TKKS.
2. Dapat memberikan informasi mengenai produksi gas sintesis melalui awal proses gasifikasi dengan menggunakan TKKS sebagai bahan baku.
3. Dapat menjadi suatu referensi untuk penelitian lebih lanjut dalam memproduksi gas sintesis.

## DAFTAR PUSTAKA

- Abdul, P.M., Jahim, J., Harun, S., Markom, M., Lutpi, N. A., Hassan, O., Balan, V., Dale, B.E., Tusirin, M., and Nor, M. 2016. Effects of changes in chemical and structural characteristic of ammonia fibre expansion (AFEX) pretreated oil palm empty fruit bunch fibre on enzymatic saccharification and fermentability for biohydrogen. *Bioresource Technology*.
- Andrini, L., Moreira Toja, R., Gauna, M.R, Conconi, M.S., Requejo, F.G., and Rendtorff, N.M. 2017. Extended and local structural characterization of a natural and 800 °C fired Na-montmorillonite-Patagonian bentonite by XRD and Al/Si XANES. *Applied Clay Science*, 137, 233-240.
- Anyaocha, K.E., Sakrabani, R., Patchigolla, K., and Mouazen, A.M. 2020. Co-gasification of oil palm biomass in a pilot scale downdraft gasifier. *Energy Reports*, 6, 1888 – 1896.
- Aprianti, N. 2022. Produksi gas sintesis melalui gasifikasi katalitik limbah biomassa dan fine coal. Disertasi Fakultas Ilmu Lingkungan. Pascasarjana Universitas Sriwijaya. Palembang.
- Arifin dan Sudrajat. 1997. Prospek pengusahaan bentonit di Indonesia. PPTM. Bandung.
- Baloyi, J., Ntho, T., and Moma, J. 2018. A novel synthesis method of Al/Cr pillared clay and its application in the catalytic wet air oxidation of phenol. *Catalysis journal*, 148, 3655-3668.
- Chen, D., Li, J., Cen, C., Feng, J., Yao, C., and Li, W. 2016. Co-catalytic effect of Al-Cr pillared montmorillonite as a new SCR catalytic support. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, 91(11), 2842-2851.

- Chen, Z., Li, J., Guan, S., Qiao, Y., Yuan, Z., Zeng, L., and Li, Z. 2021. Kinetics, thermodynamics and gas evolution of atmospheric circulating fluidized bed coal gasification fly ash combustion in air atmosphere. *Fuel*, 290, 119810.
- Ditjen PPHP, Departemen Pertanian. 2021. Pedoman pengolahan limbah industri kelapa sawit. Direktorat Jendral Perkebunan. Jakarta.
- Dou. 2016. In situ Upgrading of pyrolysis biofuels by bentonite clay with simultaneous production of heterogeneous adsorbent for water treatment. Elsevier: *Fuel*, 195, 273-283.
- Elfadly, A.M., Zeid, I.F., Yehia, F.Z., Abouelela, M.M., and Rabie, A.M. 2017. Production of aromatic hydrocarbons from catalytic pyrolysis of lignin over acid activated bentonite clay. *Fuel Processing Technology*. 163, 1-7.
- Gates, Bruce.C. 1992. Catalytic chemistry. John wiley & sons, inc.
- Gao, X., Zhong, H., Yao, G., Guo W., and Jin, F. 2016. Hydrothermal conversion of glucose into organic acids with bentonite as a solid base catalyst. *Catalysis Today*, 274, 49-54.
- Glinwong, T. and Wongchang, T. 2017. Syngas production from biomass by linear heart gasifier. *Energy Procedia*, **138**, 762-765.
- Guswendar. 2012. Karakteristik gasifikasi pada updraft double gas outlet gasifier menggunakan bahan bakar kayu karet. Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik. Universitas Indonesia. Depok.
- Haerudin, H., Rinaldi, N., dan Fisli, A. 2010. Characterization of modified bentonite using aluminium polycation. *Indonesia Journal of Chemistry*, 2(3), 173-176.



- Hossain, M.M. 2018. Promotional effects of Ce on Ni-Ce/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> for enhancement of H<sub>2</sub> in hydrothermal gasification of biomass. *International Journal of Hydrogen Energy*. 43(12), 6088-6095.
- Ingle, N.A. and Lakade, S.S. 2015. Design and development of downdraft gasifier to generate producer gas. *Energy Procedia*, 90, 423-431.
- Istadi. 2011. Teknologi katalis untuk konversi energi fundamental dan aplikasi. Graha Ilmu. Yogyakarta.
- Kar, Y. 2018. Catalytic cracking of pyrolytic oil by using bentonite clay for green liquid hydrocarbon fuels production. *Biomass and Bioenergy*, 119, 473-479.
- Kloprogge, S. P., Evans, R., Hickey, L., and Frost, R.L. 2002. Characterization and Al-pillaring of smectites from miles, Queensland (Australia). *Applied Clay Science*, 20(4-5), 157-163.
- Kumar, A. and Lingfa, P. 2020. Sodium bentonite and kaolin clays: Comparative study on their FT-IR, XRF, and XRD. *Materials Today: Proceedings*, 22, 737-742.
- Kuo, P.C. and Wu, W. 2015. Design of Co-gasification from coal and biomass combined heat and power generation system. *Energy Procedia*, 75, 1120-1125.
- Lestari. 2021. Preparasi dan karakteristik bentonit terpoliarisasi logam Al-Fe dan Al-Cr sebagai katalis untuk reaksi asam lemak bebas menjadi biodisel. Fakultas Sains dan Teknologi. Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah. Jakarta.
- Mandal, S., Daggupati, S., Majhi, S., Thakur, S., Bandyopadhyay, R., and Das, A.K. 2019. Catalysis and kinetics catalytic gasification of biomass in dual bed

gasifier for producing tar free syngas catalytic gasification of biomass in dual bed gasifier for producing tar free. *Energy and Fuels*.

McCabe, W.I. and Smith, J.c. 1985. Unit operation of chemical engineering. 4th edition. *McGraw Hill Book Company*. Singapore.

Mohammed, M.A.A. 2019. Gasification of oil palm empty fruit bunches: A characterization and kinetic study. Selangor. University Putra Malaysia.

Mufid, F. dan Anis, S. 2019. Pengaruh jenis dan ukuran biomassa terhadap proses gasifikasi menggunakan *downdraft gasifier*. Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik. Universitas Negeri Semarang. Semarang.

Nabila, A., Muhammad, F., Muhammad, S., and Subriyer, N. 2021. Catalytic gasification of oil palm empty fruit bunch by using indonesian bentonite as the catalyst. *Journal of Applied Engineering Science*, 19(2) 334-343.

Novianti, S., Biddinika., Prawisudha, P., and Yoshikawa, K. 2014. Upgrading of palm oil empty fruit bunch employing hydrothermal treatment in lab scale and pilot scale. *Procedia Environmental Sciences*, 20, 46-54.

Okoye, I.P., and Obi, C. 2011. Synthesis and characterization of titanium pillared bentonite clay mineral. *International Archieve of Applied Sciences and Technology*, 2(2), 84-89.

Pandey, S. 2017. A comprehensive review on recent developments in bentonite based materials used as adsorbents for wastewater treatment. *Journal of Molecular Liquids*, 241, 1091-1113.

Peng, W.X., Wang, L.S., Mirzaee, M., Ahmadi, H., Esfahani, M.J., Fremaux, S. 2017. Hydrogen and syngas production by catalytic biomass gasification. *Energy Conversion and Management*, 135, 270-273.

- Pino, N., Buitrago-Sierra, R., and Lopez, D. 2019. Conversion of biomass-derived furanics to fuel-range hydrocarbons: Use of palm oil empty fruit bunches. *Waste and biomass Valorization*.
- Prabowo, D.B. 2018. Pengaruh penambahan katalis bentonit paa gasifikasi updraft TKKS terhadap hasil syngas. Fakultas Teknik. Universitas Brawijaya. Malang.
- Quaak, P. 1999. Energy from biomass : A review of combustion and gasification technologies. *World Bank Technical Paper*. Washington.
- Rabie, A.M., Mohammed, E.A., and Negm, N.A. 2018. Feasibility of modified bentonite as acidic heterogeneous catalyst in low temperature catalytic cracking process of biofuel production from nonedible vegetable oil. *Journal of Molecular Liquids*, 254(2018), 260-266.
- Richardson, James.T. 1989. Principle of catalyst development. *Plenum Press*. New York.
- Rideal EK. 1968. Principles of catalyst. *Academic Press*. London.
- Ro, D., Shafaghat, H., Jang, S.H., Lee, H.W., Jung, S.C., Jae, J., Cha, J.S., and Park, Y.K. 2019. Production of an upgraded lignin-derived bio oil using the clay catalysts of bentonite and olivine and the spent FCC in a bench-scale fixed bed pyrolyzer. *Environmental Research*, 172(February), 658-664.
- Ruslan, Hardi, J., dan Mirzan, M. 2017. Sintesis dan karakteristik katalis lempung terpillar zirkonia tersulfatasi sebagai katalis perengkah. *Seminar Nasional Kimia UNY*. Yogyakarta.

- Sarafraz, M.M., Safaei, M.R., Jafarian, M., Goodarzi, M., and Arjomandi, M., 2019. High quality syngas production with supercritical biomass gasification integrated with a water-gas shift reactor. *Energies*, 12(13).
- Sewu, D.D., Lee, D.S., Tran, H.N., and Woo, S.H. 2019. Effect of bentonite mineral co-pyrolysis with macroalgae on physicochemical property and dyeuptake capacity of bentonite composite. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 104, 106-113.
- Shahbaz, M., Yusup, S., Inayat, A., Patrick, D.O., Ammar, M., and Pratama, A. 2017. Cleaner of hydrogen and syngas from catalytic steam palm kernel shell gasification using CaO sorbent and coal bottom ash as a catalyst. *Energy and Fuels*, 31(12), 13824 – 13833.
- Sharma, R. And Sheth, P.N. 2015. Thermo chemical conversion of jatropha deoiled cake: pyrolysis vs gasification. *International Journal of Chemical Engineering and Applications*, 6(5), 376-380.
- Sisnayati., Muhammad, S., Aprianti, N., Komala, R., Dwipayana, H., Muhammad, F. 2022. Metal pillared bentonite synthesis and its characteristics using x-ray diffraction. *Journal of Ecological Engineering*, 23(12) 68-74.
- Soria-Verdugo. A., Von Berg, L., Serrano, D., Hochenauer, C., Scharler, R., and Anca-Couce, A. 2019. Effect of bed material density on the performance of steam gasification of biomass in bubbling fluidized beds. *Fuel*, 257, 116118.
- Statistik, B.P. 2021. Statistik Kelapa Sawit Indonesia, Jakarta.
- Subagjo. 2010. Katalis Heterogen. Fakultas Teknologi Industri. Bandung.

- Sun, Y., Chen, J., and Zhang, Z. 2019. Biomass gasification using the waste heat from high temperature slags in a mixture of CO<sub>2</sub> and H<sub>2</sub>O. *Energy*, **167**, 688-697.
- Syuhada, Wijaya, R., Jayatin dan Rohman, S. 2009. Modifikasi bentonit menjadi organoclay dengan penambahan surfaktan. *J. Nano Saintek*, 2(1). 48 - 51.
- Tomul, F and Balci, S. 2009. Characterization of Al, Cr pillared clays and CO oxidation. Elsevier: *Fuel*, 43(1), 13-20.
- Vaccari, A. 1998. Preparation and catalytic properties of cationic and anionic clays. *Catalysis Today*, 41 (1-3), 53-71.
- Widjaya, R.R., Juwono, A.L., and Rinaldi, N. 2019. Development chromium pillared in bentonite as catalyst for ethanol to gasoline conversion. *Asian Journal of Applied Sciences*, 07(04), 425-434.
- Xie, L.F., Duan, P.G., Jiao, J.L., and Xu, Y.P. 2019. Hydrothermal gasification of microalgae over nickel catalysts for production of hydrogen-rich fuel gas: Effect of zeolite supports. *International Journal of Hydrogen Energy*, 5114-5124.
- Zhang, W., Huang, S., Wu, S., Wu, Y., and Gao, J. 2019. Study on the structure characteristics and gasification activity of residual carbon in biomass ashes obtained from different gasification technologies. *Fuel*, 254, 115699.