

TESIS
PRODUKSI GAS SINTESA BERBAHAN BAKU
LIMBAH CANGKANG KELAPA SAWIT
MENGGUNAKAN KATALIS BENTONIT TERPILAR
LOGAM Al/Cr UNTUK BAHAN BAKAR RAMAH
LINGKUNGAN

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



INDAH PUSPITA
03012622226002

PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK KIMIA
JURUSAN TEKNIK KIMIA
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SRIWIJAYA
2025

HALAMAN PENGESAHAN
PRODUKSI GAS SINTESA BERBAHAN BAKU LIMBAH CANGKANG
KELAPA SAWIT MENGGUNAKAN KATALIS BENTONIT TERPILAR
LOGAM Al/Cr UNTUK BAHAN BAKAR RAMAH LINGKUNGAN

TESIS

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

Palembang, Januari 2025

Menyetujui,

Pembimbing I,

Pembimbing II,



Prof. Dr. Ir. H. M. Faizal, DEA.
NIP. 195805141984031001



Dr. Ir. David Bahrin, S.T., M.T.
NIP. 198010312005011003

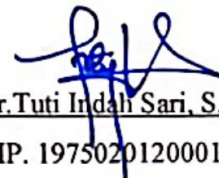
Mengetahui,

Dekan Fakultas Teknik
Universitas Sriwijaya



Dr. Ir. Bhakti Yudho Suprpto, S.T., M.T., IPM
NIP. 197502112003121002

Ketua Jurusan Teknik Kimia



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

Universitas Sriwijaya

HALAMAN PERSETUJUAN

Karya tulis ilmiah berupa Laporan Tesis ini dengan judul “Produksi Gas Sintesa Berbahan Baku Limbah Cangkang Kelapa Sawit Menggunakan Katalis Bentonit Terpillar Logam Al/Cr Untuk Bahan Bakar Ramah Lingkungan” telah dipertahankan di hadapan Tim Penguji Karya Tulis Ilmiah Program Studi Magister Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya pada Januari 2025

Palembang, Januari 2025

Tim Penguji Karya Tulis Ilmiah berupa Laporan Tesis

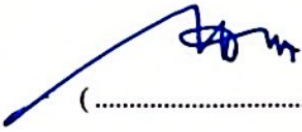

Ketua:

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


(.....)

Anggota:

1. Prof.Dr.Ir.H.M.Said, M.Sc.
NIP. 196108121987031003
2. M.Rendana, B.Sc., M.Sc, Ph.D.
NIP. 199204022019031017



(.....)

(.....)

Mengetahui,

Dekan Fakultas Teknik
Universitas Sriwijaya

Dr. Ir. Bhakti Yudho Suprpto, S.T., M.T., IPM
NIP. 197502112003121002

✓ Ketua Jurusan Teknik Kimia


Dr. Tuti Indah Saft, S.T., M.T.
NIP. 197502012000122001

Universitas Sriwijaya

HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Indah Puspita

NIM : 03012622226002

Judul : Produksi Gas Sintesa Berbahan Baku Limbah Cangkang Kelapa Sawit Menggunakan Katalis Bentonit Terpilar Logam Al/Cr Untuk Bahan Bakar Ramah Lingkungan

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, Januari 2025

Yang Membuat Pernyataan,



Indah Puspita

NIM. 03012622226002

Universitas Sriwijaya

RINGKASAN

PRODUKSI GAS SINTESA BERBAHAN BAKU LIMBAH CANGKANG KELAPA SAWIT MENGGUNAKAN KATALIS BENTONIT TERPILAR LOGAM Al/Cr UNTUK BAHAN BAKAR RAMAH LINGKUNGAN

Karya tulis ilmiah berupa tesis, November 2024

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

Synthesis Gas Production From Palm Oil Shell Waste Using Al/Cr Metal Pillared Bentonite Catalyst For Eco- Friendly Fuel

Xii + 78 Halaman, 9 Tabel, 22 Gambar, 20 Lampiran

RINGKASAN

Produksi limbah cangkang kelapa sawit pada industri kelapa sawit semakin meningkat, namun pemanfaatan limbah cangkang kelapa sawit belum dimanfaatkan secara optimal. Cangkang Kelapa Sawit harus diolah dan dimanfaatkan untuk menurunkan pencemaran dan menambah nilai guna limbah. Penelitian ini bertujuan untuk memanfaatkan limbah cangkang kelapa sawit menggunakan katalis bentonite terpillar logam Al/Cr dengan proses gasifikasi untuk menghasilkan gas sintesa. Proses pilarisasi bentonite menggunakan logam Al/Cr bertujuan untuk menambah luas permukaan katalis, jarak basal dan keasamaan permukaan katalis sehingga dapat meningkatkan aktivitas katalitik katalis dalam proses gasifikasi. Proses gasifikasi dilakukan pada temperatur 450,500,550 dan 600°C. Penambahan katalis bentonite terpillar logam Al/Cr, konsentrasi H₂ meningkat secara signifikan. Pengaruh kenaikan temperature dapat meningkatkan kandungan H₂ dengan mengkonsumsi CO dalam batas waktu tertentu. Proses gasifikasi pada temperature 600°C dengan katalis bentonite terpillar logam Al/Cr 20% merupakan kondisi optimal dalam menghasilkan gas sintesa. Nilai kalor pada hasil gasifikasi ditinjau dari nilai HHV dan LHV optimum yaitu 16,21 MJ/Nm³ dan 14,71 MJ/Nm³. Berdasarkan penelitian, gasifikasi cangkang kelapa sawit menggunakan katalis bentonite terpillar logam Al/Cr layak untuk produksi bahan bakar ramah lingkungan.

Kata Kunci: Cangkang Kelapa Sawit, bentonite terpillar logam Al/Cr, gasifikasi, energi

Kepustakaan : 64 (2009-2023)

SUMMARY

SYNTHESIS GAS PRODUCTION FROM PALM OIL SHELL WASTE USING Al/Cr METAL PILLARED BENTONITE CATALYST FOR ECO- FRIENDLY FUEL

Scientific paper in the form of Thesis, November 2024

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

Produksi Gas Sintesa Berbahan Baku Limbah Cangkang Kelapa Sawit Menggunakan Katalis Bentonit Terpillar Logam Al/Cr Untuk Bahan Bakar Ramah Lingkungan

Xii + 78 Pages, 9 Tables, 22 Figures, 20 Appendices

SUMMARY

The production of palm oil shell waste in the palm oil industry is increasing, but the utilization of palm oil shell waste has not been utilized optimally. Palm Oil Shells must be processed and utilized to reduce pollution and increase the use value of waste. This research aims to utilize palm oil shell waste using an Al/Cr metal pillared bentonite catalyst with a gasification process to produce synthesis gas. The bentonite pillarization process using Al/Cr metal aims to increase the catalyst surface area, basal distance and catalyst surface acidity so as to increase the catalytic activity of the catalyst in the gasification process. The gasification process is carried out at temperatures of 450, 500, 550 and 600°C. Adding the Al/Cr metal pillared bentonite catalyst, the H₂ concentration increased significantly. The effect of increasing temperature can increase the H₂ content by consuming CO within a certain time limit. Gasification process at temperature 600°C with a 20% Al/Cr metal pillared bentonite catalyst is the optimal condition for producing synthesis gas. The heating value of the gasification results in terms of the optimum HHV and LHV values is 16,21 MJ/Nm³ and 14,71 MJ/Nm³. Based on research, gasification of palm oil shells using an Al/Cr metal pillared bentonite catalyst is feasible for the production of environmentally friendly fuel.

Keywords : Palm Oil Shells, Al/Cr metal pillared bentonite, gasification, energy

Citations : 64 (2009-2023)

KATA PENGANTAR

Dengan mengucapkan Puji Syukur kepada Allah SWT, karena atas izin, rahmat dan hidayah-Nya penyusunan laporan tesis dengan judul “Produksi Gas Sintesa Berbahan Baku Limbah Cangkang Kelapa Sawit Menggunakan Katalis Bentonit Terpillar Logam Al/Cr Untuk Bahan Bakar Ramah Lingkungan” dapat diselesaikan. Proposal tesis ini dibuat sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan Magister pada Program Studi Teknik Kimia, Bidang Kajian Utama Teknologi Lingkungan, Fakultas Teknik 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, penulis menyampaikan ucapan terima kasih yang tulus dan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada:

1. Allah SWT yang selalu memberi nikmat, rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan laporan tesis ini
2. Bapak, mama, saudara-saudara dan keluarga besar tercinta yang telah mendukung tanpa henti baik secara moral, spiritual dan finansial.
3. Prof.Dr.Ir.H.M.Faizal, DEA dan Dr.Ir.David Bahrin, S.T., M.Y. selaku Dosen Pembimbing I dan Pembimnbing II yang telah 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, Januari 2025

Penulis,

Indah Puspita

Universitas Sriwijaya

DAFTAR ISI	Halaman
HALAMAN PENGESAHAN	i
HALAMAN PERSETUJUAN	ii
HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS	iii
RINGKASAN	iv
SUMARRY	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	xi
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	5
1.6 Manfaat Penelitian.....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Cangkang Kelapa Sawit	6
Gambar 2. 1 Limbah Cangkang Kelapa Sawit.....	6
2.2 Katalis.....	8
2.3 Katalis Bentonit.....	12
2.4 Pilarisasi logam Al/Cr	14
2.5 Gasifikasi.....	16
2.5.1. Faktor – Faktor yang Mempengaruhi Gasifikasi	17
2.5.2. Tahapan Gasifikasi.....	18
2.5.3. Kebutuhan Medium Gasifikasi	22
2.5.4. Efisiensi Gasifikasi.....	22
2.5.5. Jenis Reaktor Gasifikasi.....	23
2.6 Penelitian Terdahulu.....	25
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	28
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	28
3.2 Alat dan Bahan Penelitian	28

3.2.1.	Alat.....	28
3.2.2.	Bahan.....	28
3.2.3.	Instrumen dan Alat Penunjang.....	29
3.3	Rancangan Penelitian	29
3.3.1	Variabel dan Matriks Penelitian.....	29
3.3.2	Prosedur Penelitian.....	29
3.3.3	Tahap Penelitian.....	30
3.3.4	Analisa Data Produk Gas Sintesis.....	35
3.3.4.1.	Rasio Combustible Gas	35
3.3.4.2.	Rasio H ₂ /CO	36
3.3.4.3.	Nilai Kalor Gas Sintesa	36
3.3.4.4.	Carbon Conversion Efficiency (CCE).....	36
3.3.4.5.	Cold Gas Efficiency (CGE).....	36
3.4	Diagram Alir Penelitian.....	37
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		38
4.1	Hasil Karakteristik Katalis Bentonit Terpilar Al/Cr.....	38
4.1.1	Hasil Analisa Scanning Electron Miscoope (SEM).....	38
4.1.2	Hasil Analisa <i>Brunauer-Emmet-Teller</i> (BET)	39
4.1.3	Hasil Analisa <i>X-ray Diffraction</i> (XRD).....	40
4.2	Pengaruh Temperature terhadap Volume Syngas pada Gasifikasi Cangkang Kelapa Sawit	43
4.3	Efisiensi Gasifikasi dan Nilai Kalor Syngas Gasifikasi Cangkang Kelapa Sawit	48
4.3.1	Efisiensi Gasifikasi Cangkang Kelapa Sawit.....	48
4.3.2	Nilai Kalor Syngas.....	52
BAB V KESIMPULAN		55
5.1	Kesimpulan.....	55
5.2	Saran.....	55
DAFTAR PUSTAKA.....		56
LAMPIRAN		64

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Limbah Cangkang Kelapa Sawit.....	6
Gambar 2. 2 Penurunan Energi Aktivasi (Fatimah, 2014).....	8
Gambar 2. 3 Mekanisme Reaksi Katalitik Heterogen.....	9
Gambar 2. 4 Mekanisme Pilarisasi (Lestari, 2022).....	15
Gambar 2. 5 Tahapan dan Reaksi Proses Gasifikasi (Aprianti, 2022).....	19
Gambar 2. 6 <i>Updraft Gasifier</i> (Andican, 2021).....	23
Gambar 2. 7 <i>Downdraft Gasifier</i> (Andican, 2021).....	24
Gambar 2. 8 <i>Crossdraft Gasifier</i> (Andican, 2021).....	25
Gambar 3. 1 Flowsheet Gasifikasi (Aprianti, 2022).....	30
Gambar 3. 2 Desain Gasifier Apparatus.....	31
Gambar 3. 3 Diagram Alir Penelitian.....	37
Gambar 4. 1 Hasil Uji SEM Bentonit Terpilar Logam Al/Cr Perbesaran (a) 1000 kali (b) 6000 kali.....	38
Gambar 4. 2 Hasil Analisa XRD Bentonit Terpilar Al/Cr.....	40
Gambar 4. 3 Hasil Analisa XRD Bentonit Alam (Sisnayati et al., 2022).....	41
Gambar 4. 4 Pengaruh Temperatur terhadap Volume Syngas Gasifikasi Cangkang Kelapa Sawit (Non-katalitik).....	43
Gambar 4. 5 Pengaruh Katalis terhadap Volume Syngas Gasifikasi Cangkang Kelapa Sawit.....	45
Gambar 4. 6 Pengaruh Katalis Bentonit Al/Cr 10%wt terhadap Volume Syngas Gasifikasi Cangkang Kelapa Sawit.....	47
Gambar 4. 7 Pengaruh Katalis Bentonit Al/Cr 20%wt terhadap Volume Syngas Gasifikasi Cangkang Kelapa Sawit.....	47
Gambar 4. 8 Pengaruh temperature terhadap rasio H ₂ /CO syngas Gasifikasi Cangkang Kelapa Sawit pada berbagai katalis.....	49
Gambar 4. 9 Pengaruh temperature terhadap rasio CG/NCG syngas Gasifikasi Cangkang Kelapa Sawit pada berbagai katalis.....	50
Gambar 4. 10 Pengaruh temperature terhadap efisiensi konversi karbon (CCE) Gasifikasi Cangkang Kelapa Sawit pada berbagai katalis.....	51

Gambar 4. 11 Pengaruh temperature terhadap cold gas efficiency (CGE) Gasifikasi Cangkang Kelapa Sawit pada berbagai katalis	52
Gambar 4. 12 Pengaruh temperature terhadap HHV syngas hasil gasifikasi Cangkang Kelapa Sawit pada berbagai katalis	53
Gambar 4. 13 Pengaruh temperature terhadap LHV syngas hasil gasifikasi Cangkang Kelapa Sawit pada berbagai katalis	53

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Hasil Uji Proksimat dan Ultimate Cangkang Kelapa Sawit	7
Tabel 2. 2 Spesifikasi Penyangga Katalis	10
Tabel 2. 3 Jenis dan Fungsi Promotor	11
Tabel 2. 4 Hasil Analisis Kimia Bentonit	12
Tabel 2. 5 Penelitian Terdahulu	25
Tabel 3. 2 Parameter dan Metode Uji Cangkang Kelapa Sawit.....	32
Tabel 4. 1 Hasil Karakteristik BET.....	39
Tabel 4. 2 Hasil Basal Spacing Uji SEM	42
Tabel 4. 3 Data Ukuran Kristal Rata-rata.....	42

DAFTAR ISTILAH DAN SINGKATAN

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

DAFTAR SIMBOL

MBb	Laju Konsumsi Bahan Bakar	Kg/s
mBb	Massa Bahan Bakar	Kg
T	Waktu	S
% wt	Persen Berat	gram
LHV _{BB}	Lower Heating Value Bahan Bakar	kkal/kg
HHV _{BB}	High Heating Value Bahan Bakar	kkal/kg
ΔH_f	Entalpi Pembentukan Standar	kJ/mol
hg	Panas Laten dari Sistem	2,260 MJ/kg
λ	Panjang Gelombang Sinar X	1,54056 Å
D	Ukuran Kristal	nanometer

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dalam pembangunan nasional suatu negara, energi memiliki peran yang penting. Energi berperan sebagai pendorong utama berkembangnya sektor industri dan dapat mewujudkan keseimbangan pembangunan yang meliputi aspek sosial, lingkungan dan ekonomi. Dimana dalam hal ini, salah satu indikator yang menunjukkan kemajuan pembangunan suatu negara adalah tingkat konsumsi energi. Peningkatan pertumbuhan ekonomi, penambahan penduduk dan kesejahteraan rakyat menjadi penyebab naiknya tingkat konsumsi energi. Dalam Peraturan Presiden Republik Indonesia (PP) Nomor 22 Tahun 2017 menyatakan emisi gas karbondioksida (CO₂) di Indonesia pada tahun 2050 diprediksi akan mencapai 1,95 juta ton yang bersumber dari pembangkit listrik, industri dan transportasi. Seiring dengan meningkatnya konsumsi energi menyebabkan adanya tantangan baru yang dihadapi yakni krisis energi.

Indonesia saat ini mengalami defisit energi dimana adanya ketergantungan terhadap bahan bakar fosil sehingga permintaan meningkat dan cadangan bahan bakar fosil semakin menipis. Oleh karena itu, untuk mengatasi permasalahan krisis energi ini perlu dilakukan diversifikasi energi yakni mencari energi alternatif terbarukan yang renewable, memiliki ketersediaan bahan baku yang melimpah dan ramah terhadap lingkungan (Sandra, 2021). Pemanfaatan energi baru terbarukan di Indonesia hanya mencapai 6% dari total potensi yang ada. Pada tahun 2020, Kementerian ESDM menargetkan bauran energi mencapai 13,4%. Secara bertahap akan mengalami kenaikan pada 2021 sebesar 14,5%, 2022 mencapai 15,7% hingga mencapai target 23% di tahun 2025 dengan terpenuhinya target *Net Zero Emission* (NZE) pada tahun 2060 (Kementerian ESDM, 2023).

Indonesia merupakan negara dengan perkebunan kelapa sawit terluas di dunia. Pada tahun 2022, luas perkebunan kelapa sawit di Indonesia mencapai 15.380.981 Ha yang tersebar di seluruh bagian Indonesia dan dapat memproduksi CPO sebanyak 48.235.405 ton CPO (Dirjen Perkebunan, 2022). Dari 1 ton tandan kelapa sawit diperoleh 21-23% CPO dan 5% cangkang kelapa sawit (Donda, dkk., 2019).

Dengan banyaknya perkebunan kelapa sawit di Indonesia menyebabkan banyaknya limbah yang diproduksi salah satunya cangkang kelapa sawit.

Cangkang kelapa sawit merupakan limbah pertanian yang mengandung bahan organik yang tinggi dan berpotensi sebagai sumber energi alternatif. Sebagai salah satu penghasil sawit terbesar, Indonesia perlu memperhatikan masalah penanganan limbah tanaman dan limbah pabrik kelapa sawit, sehingga dapat menghasilkan nilai ekonomi dan mengurangi pencemaran lingkungan akibat industri kelapa sawit. Pada umumnya, limbah cangkang kelapa sawit digunakan sebagai bahan baku dalam pembuatan briket (Tarigan dkk, 2023), sebagai campuran pembuatan beton (Suderajat, 2022) dan sebagai bahan baku untuk pembuatan arang aktif (Harmiansyah dkk, 2023). Pengolahan limbah cangkang kelapa sawit sebelumnya dinilai belum dapat mengatasi dan mengurangi limbah cangkang kelapa sawit yang setiap tahunnya semakin meningkat. Oleh karena itu, perlu dilakukan pengolahan limbah cangkang kelapa sawit yang lebih efektif. Salah satu pengolahan limbah cangkang kelapa sawit menjadi energi untuk mengatasi masalah krisis energi yakni dengan cara gasifikasi (Myzar, R., dkk. 2019).

Gasifikasi merupakan teknologi pengolahan limbah padat menjadi gas yang ramah lingkungan (*Syngas*). *Syngas* merupakan gas yang dihasilkan dari proses gasifikasi yang terdiri dari gas CO (karbon monoksida), H₂ (Hidrogen) dan CH₄ (metana) (Prasetyadi, 2020) , dimana gas-gas ini dapat digunakan sebagai pengganti BBM untuk menggerakkan mesin diesel sehingga dapat dimanfaatkan untuk pembangkitan listrik maupun alat mekanik lainnya. Gasifikasi berpotensi menyelesaikan beberapa permasalahan seperti krisis energi, penanganan limbah biomassa serta emisi gas rumah kaca. Selain menghasilkan *syngas*, produk gasifikasi juga menghasilkan tar sebagai produk samping berbentuk cair. Tar merupakan pengotor hasil gasifikasi yang bewarna hitam kental dan berbau tajam yang dapat menurunkan nilai kalor dan merusak peralatan karena bersifat korosif (Budiarto dkk, 2021), sehingga pada proses gasifikasi dilakukan peningkatan kualitas gas sintesis untuk mengurangi terbentuknya tar dengan cara menambahkan katalis (Zhou et al., 2019).

Bentonit sebagai katalis mempunyai struktur permukaan yang fleksibel sehingga pori bentonite dapat di modifikasi membentuk bentonite terpillar dengan

ukuran mikropori/ mesopore. Adapun keunggulan bentonit sebagai katalis memiliki kandungan SiO_2 dan Al_2O_3 yang dapat meningkatkan yield gas dan menghantarkan panas dengan baik (Ro dkk., 2019) serta memiliki luas permukaan dan aktifitas yang tinggi, tetapi kelemahan bentonite yakni stabilitas termal dan hidrotermal yang rendah yakni dibawah 600°C - 700°C (Wahyuningsih dkk., 2015). Oleh karena itu, untuk meningkatkan luas permukaan bentonite dilakukan modifikasi struktur bentonite dengan cara pilarisasi. Dimana pilarisasi adalah suatu proses distribusi logam pada bentonite ke dalam lapis silika struktur bentonite. Proses modifikasi berupa pilarisasi dapat menyebabkan peningkatan basal spacing, luas permukaan dan keasaman permukaan sehingga diharapkan menghasilkan bentonite dengan aktivitas katalitik yang baik sebagai katalis (Mingli, 2002).

Optimalisasi limbah cangkang sawit dengan proses gasifikasi menggunakan katalis telah dilakukan dalam penelitian Kang Helen Dian Lestari, dimana digunakan katalis Bentonit terpillarisasi Logam Al-Fe dan Al-Cr dalam reaksi asam lemak bebas menjadi biodiesel didapatkan katalis terbaik untuk reaksi transesterifikasi asam lemak bebas menjadi biodiesel yakni katalis Al-Cr dengan nilai konversi 70,41%. Berdasarkan penelitian Fatimah dkk., pemilihan logam Al menunjukkan adanya peningkatan luas permukaan bentonite dan tahan pada suhu yang tinggi sedangkan logam Cr menunjukkan adanya peningkatan sifat keasaman dari jatalis bentonite (Widjaja dkk., 2019). Penggabungan pilarisasi logam Al/Cr diharapkan dapat meningkatkan aktivitas katalitik pada proses gasifikasi.

Berdasarkan landasan tersebut, maka perlu dilakukan penelitian berkelanjutan dalam pemanfaatan limbah cangkang kelapa sawit dengan proses gasifikasi menggunakan katalis bentonit terpillarisasi logam Al/Cr.

1.2 Rumusan Masalah

Dalam mengatasi permasalahan krisis energi ini perlu dilakukan diversifikasi energi yakni mencari energi alternatif terbarukan yang *renewable*, memiliki ketersediaan bahan baku yang melimpah dan ramah terhadap lingkungan, salah satu energi alternatif yang dapat diperbaharui yaitu biomassa. Gasifikasi merupakan teknologi pengolahan limbah padat menjadi gas yang ramah lingkungan (*Syngas*). Limbah cangkang kelapa sawit dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi yang dapat menghasilkan syngas melalui proses gasifikasi menggunakan

katalis bentonit terpillarisasi logam Al/Cr. Adapun rumusan masalah berdasarkan uraian tersebut yaitu:

1. Bagaimana cara mengolah limbah cangkang kelapa sawit dengan proses gasifikasi sehingga mendapatkan syngas sebagai bahan bakar?
2. Bagaimana pengaruh penggunaan katalis bentonite terpillarisasi logam Al/Cr dalam proses gasifikasi cangkang kelapa sawit?
3. Bagaimana pengaruh suhu dan jumlah katalis dalam proses gasifikasi cangkang kelapa sawit untuk mendapatkan *syngas*?

1.3 Tujuan Penelitian

Secara umum penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan *syngas* kualitas terbaik melalui proses gasifikasi limbah cangkang kelapa sawit. Adapun tujuan khusus dari penelitian ini, yaitu :

1. Menganalisis karakteristik katalis bentonit sesudah terpillar logam Al/Cr
2. Menganalisis pengaruh jumlah katalis bentonite terpillarisasi logam Al/Cr dan temperature dalam proses gasifikasi cangkang kelapa sawit terhadap *syngas* yang dihasilkan
3. Menganalisis efisiensi dan nilai kalor dalam proses gasifikasi cangkang kelapa sawit menggunakan katalis bentonit terpillar logam Al/Cr

1.4 Hipotesa

Proses gasifikasi dilakukan melalui beberapa tahapan reaksi yakni reaksi pengeringan, pirolisis, reduksi dan oksidasi dengan variasi temperature dan jumlah katalis yang dapat mempengaruhi produksi (% volume *syngas* dan kualitas *syngas*). Semakin tinggi temperature reaksi serta semakin banyak jumlah katalis yang digunakan maka % konversi *syngas* yang dihasilkan semakin besar, sehingga dapat menghasilkan *syngas* dengan kualitas yang baik.

1.5 Ruang Lingkup Penelitian

Ruang lingkup pada penelitian dibatasi sebagai berikut:

1. Bahan baku pembuatan syngas menggunakan cangkang kelapa sawit
2. Katalis yang digunakan dalam proses gasifikasi yakni katalis bentonite terpillarisi logam Al/Cr
3. Analisa hasil syngas seperti gas CO₂, gas CO, gas H₂ dan gas CH₄
4. Suhu reaksi proses gasifikasi yakni 450°C, 500°C, 550°C dan 600°C
5. Konsentrasi katalis divariasikan 10% dan 20%
6. Penelitian berfokus pada analisa hasil gasifikasi berdasarkan variasi temperature dan jumlah katalis

1.6 Manfaat Penelitian

Dari hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat antara lain:

1. Memperoleh pengetahuan terkait metode produksi syngas dengan proses gasifikasi cangkang kelapa sawit menggunakan katalis bentonite terpillarisi logam Al/Cr
2. Memberikan informasi kepada peneliti dan akademisi mengenai kondisi optimum reaksi gasifikasi cangkang kelapa sawit
3. Menjadi bahan pustaka atau landasan teori untuk mengembangkan berbagai penelitian mengenai produksi *syngas* dengan proses gasifikasi cangkang kelapa sawit dan dapat diaplikasikan dalam skala industri
4. Menambah nilai ekonomis limbah cangkang kelapa sawit menjadi *syngas* dengan proses gasifikasi

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmadi, A., Foroutan, R., Esmaeili, H., and Tamjidi, S., 2020. The role of bentonite clay and bentonite clay MnFe₂O₄ composite and their physico-chemical properties on the removal of Cr(III) and Cr(VI) from aqueous media. *Environmental Science and Pollution Research*, (Vi).
- 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 Mouazeb, A.M., 2018. Critical evaluation of oil palm fresh fruit bunch solid wastes as soil amendments: Prospects and challenges. *Resource, Conservation and Recycling*, 136, 399-409.
- Arisanty, Y.R., Kusumastuti, T., dan Utami A.W.2009. Gasifikasi Limbah Kulit Biji Kopi dalam Reaktor Fixed Bed dengan sistem Inverted Downdraft Gasfisier : Distribusi Suhu. Simposium Nasional RAPI VIII ISSN: 1412-9612.
- Basu, P. (2013). *Biomass gasification and pyrolysis: practical design and theory*. Academic press.
- Budiarto, Hairil., Faikul Umam., Ibnu Irawan. 2021. Gasifikasi Teori, Perancangan dan Penerapannya. Media Nusa Creative. Malang.
- Busca, G. 2014. *Heterogeneous Catalytic Materials*. Elsevier. Amsterdam.
- Chew, J.J., Soh, M., Sunarso, J., Yong, S.T., Doshi, V., and Bhattacharya, S., 2020b. Isothermal kinetic study of CO₂ gasification of torrefied oil palm biomass. *Biomass and Bioenergy*, 134, 105487.
- Direktorat Jenderal Perkebunan, Kementerian Pertanian, 2022. Statistik Perkebunan Unggulan Nasional 2020-2022. Jakarta.

- Donda, Silalahi Meriahni, Fransisco Yosua. 2019. Pemanfaatan Cangkang Kelapa Sawit Sebagai Arang Aktif dalam Adsorpsi Minyak Goreng Bekas. Politeknik Teknologi Kimia Industri.
- 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.
- Fatimah, I, S., Narsito, and Wijaya, K., 2011, Effect of Aluminium Pillared Montmorillonite on Its Surface Acidity Properties, *ITB J. Sci.*, vol. 43A, pp. 123-138.
- 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.
- Gonzalez-Vazquez, M.P., Garcia, R., Gil, M.V., Pevida, C., and Rubiera, F., 2018. Unconventional biomass fuels for steam gasification: Kinetic analysis and effect of ash composition on reactivity. *Energy*, 155, 425-457.
- Han, T., Dings S., Yang, W., and Jonsson, P., 2019. Catalytic pyrolysis of lignin using low-cost materials with different acidities and textural properties as catalysts. *Chemical Engineering Journal*, 373 , 846-856.
- Harmiansyah., Putri Wulan Dari., Savitri Wahyuni., Sarah Dila Rahmawati., Ni Made Tiara Wati., Azikia Karunia Putri. 2023. Karakteristik Arang dari Cangkang Kelapa Sawit sebagai Bahan Dasar Utama Pembuatan Biobriket. Institut Teknologi Sumatera. Lampung.
- Istadi. 2011. Teknologi Katalis untuk Konversi Energi: Fundamental dan Aplikasi. Graha ilmu. Yogyakarta.
- Jiang, Y., Huang, T., Dong, L., Su, T., Li, B., Luo, X., Xie, X., Qin, Z., Xu, C., and Ji, H., 2018b. Mn modified Ni/bentonite for CO₂ methanation. *Catalysts*, 8(12).

- Kakaei, S., Khameneh, E.S., Rezazadeh, F., and cheneini, M.H., 2020. Heavy metal removing by modified bentonite and study of catalytic activity. *Journal of Molecular Structure*, 1199, 126989.
- Kar, Y. 2018. Catalytic cracking of pyrolytic oil by using bentonite clay for green liquid hydrocarbon fuels production. *Biomass and Bioenergy*, 119, 473-479.
- Kar, Y., Bozkurt, G., and Yalman, Y., 2019. Liquid fuels from used transformer oil by catalytic cracking using bentonite catalyst. *Environmental Progress and Sustainable Energy*, 38(4), 1–6.
- Kementrian ESDM. 2023. Geliat Industri Dukung Pemanfaatna Energi Bersih. <https://ebtke.esdm.go.id/post/2022/11/24/3352/geliat.industri.dukung.pemanfaatan.energi.bersih.melalui.plts.atap>. Diakses pada 10 Juli 2023.
- 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.
- Lestari, Kang Helen Dian. 2021. Preparasi dan Karakterisasi Bentonit Terpilarisasi Logam Al-Fe dan Al-Cr sebagai Katalis untuk Reaksi Asam Lemak Bebas menjadi Biodiesel. Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah. Jakarta.
- Mahendra, Andika Rizky., Windu Heru Suprpto. 2021. Pra Rancangan Pabrik Karbon Aktif dari Cangkang Kelapa Sawit (Palm Kernel Shell) Teraktivasi KOH dengan Kapasitas 10.000 Ton/Tahun. Universitas Islam Yogyakarta.
- Martillo Aseffe, J.A., Martinez Gonzalez, A., Jaen, R.L., and Silva Lora, E.E., 2021. The corn cob gasification (SEG) of agroforestry residues; Influence of feedstock and main operating variables on product gas quality. *Fuel Processing Technology*, 226.
- Miandad, R., Barakat, M.A., Rehan, M., Aburiazaiza, A.S., Ismail, I.M.I. and Nizami, A.S., 2017. Plastic waste to liquid oil through catalytic pyrolysis using natural and synthetic zeolite catalysts. *Waste Management*, 69, 66-78.

- Mohammed, M.A.A. 2019. Gasification of oil palm empty fruit bunches: A characterization and kinetic study. Selangor. University Putra Malaysia.
- Monir, M.U., Abd Aziz, A., Kristanti, R.A., and Yousuf, A., 2018a. Co-gasification of empty fruit bunch in a downdraft reactor: A pilot scale approach. *Bioresource Technology Reports*, 1, 39–49.
- Mosai, A.K., Chimuka, L., Cukrowska, E.M., Kotzé, I.A., and Tutu, H., 2020. Removal of platinum (IV) from aqueous solutions with yeast-functionalised bentonite. *Chemosphere*, 239.
- Mursadin, Aqli., Ahmad Fitria. 2019. Pengaruh Katalis Bentonit pada Hasil Volume Syngas Gasifikasi Limbah Kayu Galam dan Batubara Kualitas Rendah. Universitas Lambung Mangkurat. Kalimantan.
- McCabe, W.I. and Smith, J.c. 1985. Unit operation of chemical engineering. 4th edition. *McGraw Hill Book Company*. Singapore.
- Myzhar, Ramly., Dwi Heru Sutjahjo. 2019. Uji Kualitas Syngas Gasifikasi Cangkang Sawit terhadap AFR dan Kadar Air Pada Gasifier PE Updraft. Universitas Negeri Surabaya.
- 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.
- Nasikin, M., dan Susanto, B. H. (2010) Katalis Heterogen, Edisi Pertama, Penerbit Universitas Indonesia, Jakarta.
- Nuryanto, Rahmad., Geraldina, Taslimah. 2016. Pemanfaatna Montmorillonit Terpillar Al-Cr pada Adsopsi Zat Warna Rhodamin B dengan Variasi Massa Adsorben dan Waktu Adsopsi. Fakultas Sains dan Matematika. Universitas Diponegoro. Semarang.
- Ochnio M., Kluska, J., and Kardas, D., 2020. Effect of biochar and ash putflow during updraft partial gasification on process parameters in a moving bed reactor. *Chemical Papers*, 74(11), 4047-4055.

- Onaola, B.M., Y.Utubira., J.B.Manuhuttu. 2020. Pilarisasi Lempung Alam Desa Ouw dengan Al_2O_3 Sebagai Adsorben Zat Warna Metil Orange. Pattimura University Ambon. Maluku.
- Prabowo, D.B. 2018. Pengaruh penambahan katalis bentonit paa gasifikasi updraft TKKS terhadap hasil syngas. Fakultas Teknik. Universitas Brawijaya. Malang.
- Prananta, J. 2019. Pemanfaatan Sabut dan Tempurung Kelapa Sawit untuk Pembuatan Asap Cair sebagai Pengawet Makanan Alami. Universitas Malikussaleh Lhokseumawe. Aceh.
- Purwanto, Agus. 2011. Pengaruh Tipe Industri, Ukuran Perusahaan, Profitabilitas terhadap Corporate Social Responsibility. Vol.8 No.1, November 2011: 1-94.
- Prasetyadi.2020. Gas Hidrogen dari Tandang Kosong Kelapa Sawit Melalui Proses Supercritical Water Gasification (SCWG). Pusat Teknologi Lingkungan (BPPT).
- Priandana, Idham., Endang Suhendi., Gilang Umar Paradise. 2016. Pengaruh Laju Alir Udara dan Waktu Proses Gasifikasi Terhadap Gas Producer Limbah Tangkai Daun Tembakau Menggunakan Gasifier Tipe Downdraft. Universitas Sultan Ageng Tirtayasa. Banten.
- 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.
- 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.

- Ruskandi, Cecep., Ari Siswanto., R.Widodo. 2020. Karakteristik fisik dan kimiawi bentonite untuk membedakan natural sodium bentonite daengan sodium bentonite hasil aktivasi. Politeknik Negeri Bandung. Bandung.
- Sabitah, A'yan., Moh Sulhan., Raliannoor. 2020. Peningkatan Hasil Hidrogen Pada Proses Gasifikasi Tandan Sawit. Politeknik Unisma Malang. Malang.
- Salim, Muhammad. 2012. Preparasi Organoclay dari Bentonit Merangin-Jambbi dan Surfaktan Nonionik serta Aplikasinya sebagai Adsorben p-Klorofenol dalam air. Universitas Indonesia. Jakarta.
- Sandra, dkk., 2021, Konversi Cangkang Sawit menjadi Bio-oil menggunakan Katalis Ni.Mo/Lempung Cengar, Tugas Akhir Program Studi Teknik Kimia S1, Fakultas Teknik, Universitas Riau.
- 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.
- Shahabuddin, M., Kibria, M.A., and Bhattacharya, S., 2021. Evaluation of high-temperature pyrolysis and CO₂ gasification performance of bituminous coal in an entrained flow gasifier. *Journal of the Energy Institute*, 94, 294-309.
- Siahaan, Taufik. 2019. Pembuatan Syngas menggunakan Updraft Gasifier dari Limbah Cangkang Kelapa Sawit (CKS) dan Kulit Kopi (KK). Univeristas Islam Negeri Syarif Hidayatullah. Jakarta.
- 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.
- Su, H., Liao, W., Wang, J., Hantoko, D., Zhou, Z., Feng, H., Jiang, J., and Yan, M., 2020. Assessment of supercritical water gasification of food waste under the background of waste sorting: Influences of plastic waste contents. *International Journal of Hydrogen Energy*, 45(41), 21138–21147.
- Su, T., Tian, H., Qin, Z., and Ji, H., 2017. Preparation and characterization of Cu

modified BiYO₃ for carbon dioxide reduction to formic acid. *Applied Catalysis B: Environmental*, 202, 364-373.

Subagyo. 2010. Katalis Heterogen. Fakultas Teknologi Industri. Bandung.

Suderajat., Rahman Yatnikasari., Santi. 2022. Pemanfaatan Limbah Cangkang Kelapa Sawit dan Pasir Tenggara dalam Campuran Pembuatan Beton. Universitas Muhammadiyah Kalimantan Timur. Kalimantan Timur.

Susanto, Joko Prayitno., Arif Dwi Santoso., nawa Sunedi. 2018. Perhitungan Potensi Limbah Padat Kelapa Sawit untuk Sumber Energi Terbaharukan dengan Metode LCA. Peneliti Pusat Teknologi Lingkungan (BPPT). Jakarta.

Tarigan, Marben., Herawati Oktaviany, Kusumastuti. 2023. Pembuatan Briket Arang dari Cangkang Kelapa Sawit dan Ampas Tebu menggunakan Perkat Tapioka. Instipepr Yogyakarta. Yogyakarta.

Tian, Y., Zhou, X., Lin, S., Ji, X., Bai, J., and Xu, M., 2018. Syngas production from air-steam gasification of biomass with natural catalysts. *Science of the total environment*, 645, 518-523.

Tomeczek et al. 1987. Spalanie wqla coal combustion.

Tuas, Maria Angelina., Ali Masduqi., 2019. *Removal of Copper content in jewelery industry wastewater using commercial activated carbon*. Institut Sepuluh Nopember. Surabaya.

Triandhani, Triska Eva., Taslimah., Sriyanti, 2021. Pilarisasi Lempung dengan Al/Cr sebagai Adsorben Minyak Sisa Pakai. Universitas Diponegoro.

Triyono. 2002. Kimia Katalis. FMIPA UGM. Yogyakarta.

Vantycya, Desta., 2017. Pemanfaatan Cangkang Kelapa Sawit sebagai Penyangga pada Katalis Cu/Zn/Karbon aktif untuk Konversi Syngas (H₂/CO) menjadi Methanol. Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah. Jakarta.

Wahyuningsih, Puji., Karna Wijaya., Wega Trisunaryanti. 2015. Pengaruh Perlakuan Temperatur pada Sintesis Bentonit Terpillar Al₂O₃ terhadap

karakternya dan Aplikasinya sebagai Katalis dalam Reaksi Esterifikasi. Universitas Samudra. Aceh.

- Wang, X., Hu, M., W., Chen, Z., Liu, S., Hu, Z., and Xiao, B., 2016. Thermogravimetric kinetic study of agricultural residue biomass pyrolysis based on combined kinetics. *Bioresource Technology*, 219, 510-520.
- 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.
- Wirawan, I Ketut Gede., I Wayan Arya Darma., I Nyoman Suprpta Winaya. 2018. Studi Pengaruh Temperature Reaktor Gasifikasi terhadap Fuel Conversion Rate Gasifikasi Dual Reactor Fluidized Bed. Universitas Udayana. Bali.
- Zhou, L., Yang, Z., Tang, A., Huang, H., Wei, D., Yu, E., and Lu, W., 2019a. Steam-gasification of biomass with CaO as catalyst for hydrogen-rich syngas production. *Journal of the Energy Institute*, 95(6), 1641–1646.
- 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.