

**PENGOLAHAN LIMBAH PLASTIK *HIGH DENSITY POLYETHYLENE*
(HDPE) MENGGUNAKAN METODE PIROLISIS DENGAN KATALIS
BENTONIT TERAKTIVASI ASAM SULFAT (H_2SO_4)**

Skripsi

**Untuk memenuhi sebagian persyaratan
mencapai derajat Sarjana Kimia**



**PROGRAM STUDI KIMIA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA
2024**



PENGESAHAN TUGAS AKHIR

Nomor : B-1520/Un.02/DST/PP.00.9/08/2024

Tugas Akhir dengan judul : PENGOLAHAN LIMBAH PLASTIK HIGH DENSITY POLYETHYLENE (HDPE)
MENGUNAKAN METODE PIROLISIS DENGAN KATALIS BENTONIT
TERAKTIVASI ASAM SULFAT (H₂SO₄)

yang dipersiapkan dan disusun oleh:

Nama : SISKAWULANDARI
Nomor Induk Mahasiswa : 20106030004
Telah diujikan pada : Selasa, 13 Agustus 2024
Nilai ujian Tugas Akhir : A

dinyatakan telah diterima oleh Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta

TIM UJIAN TUGAS AKHIR



Ketua Sidang

Prof. Dr. Maya Rahmayanti, S.Si. M.Si.
SIGNED

Valid ID: 66c58b9cda0ae



Penguji I

Karmanto, S.Si., M.Sc.
SIGNED

Valid ID: 66c57669abaf8



Penguji II

Endaruji Sedyadi, M.Sc.
SIGNED

Valid ID: 66bc5b96dbcb8



Yogyakarta, 13 Agustus 2024

UIN Sunan Kalijaga
Dekan Fakultas Sains dan Teknologi

Prof. Dr. Dra. Hj. Khurul Wardati, M.Si.
SIGNED

Valid ID: 66c6ad4782725



SURAT PERSETUJUAN SKRIPSI/TUGAS AKHIR

Hal : Persetujuan Skripsi / Tugas Akhir

Lamp : -

Kepada

Yth. Dekan Fakultas Sains dan Teknologi

UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta

di Yogyakarta

Assalamu'alaikum wr. wb.

Setelah membaca, meneliti, memberikan petunjuk dan mengoreksi serta mengadakan perbaikan seperlunya, maka kami selaku pembimbing berpendapat bahwa skripsi Saudara:

Nama : Siska Wulandari

NIM : 20106030004

Judul Skripsi : Pengolahan Limbah Plastik *High Density Polyethylene* (HDPE) Menggunakan Metode Pirolisis dengan Katalis Bentonit Teraktivasi Asam Sulfat (H_2SO_4)

sudah dapat diajukan kembali kepada Program Studi Kimia Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Strata Satu dalam Program Studi Kimia.

Dengan ini kami mengharap agar skripsi/tugas akhir Saudara tersebut di atas dapat segera dimunaqasyahkan. Atas perhatiannya kami ucapkan terima kasih.

Wassalamu'alaikum wr. wb.

Yogyakarta, 08 Agustus 2024

Pembimbing

Prof. Dr. Maya Rahmayanti, S.Si., M.Si.

NIP: 19810627 200604 2 003

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Yang bertandatangan di bawah ini :

Nama : Siska Wulandari
NIM : 20106030004
Jurusan : Kimia
Fakultas : Sains dan Teknologi

Menyatakan bahwa skripsi yang berjudul "**Pengolahan Limbah Plastik *High Density Polyethylene (HDPE)* Menggunakan Metode Pirolisis dengan Katalis Bentonit Teraktivasi Asam Sulfat (H_2SO_4)**" merupakan hasil penelitian saya sendiri, tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjana di suatu Perguruan Tinggi, dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan orang lain, kecuali secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Yogyakarta, 08 Agustus 2024



Siska Wulandari
NIM. 20106030004

HALAMAN MOTTO

“ Allah tidak membebani seseorang melainkan sesuai dengan kesanggupannya.
Dia mendapat (pahala) dari (kebajikan) yang dikerjakannya dan mendapat (siksa)
dari (kejahatan) yang diperbuatnya.” (QS. Al-Baqarah : 286)



HALAMAN PERSEMBAHAN

Skripsi ini penulis dedikasikan kepada kedua orang tua tercinta Bapak Jupri dan Ibu Sundarti yang selalu melangitkan doa – doa baik dan menjadikan motivasi untuk saya dalam menyelesaikan skripsi ini. Saya persembahkan karya tulis sederhana dan gelar ini untuk bapak dan ibu.

Diri saya sendiri, Siska Wulandari karena telah mampu berusaha dan berjuang sejauh ini. Mampu mengendalikan diri walaupun banyak tekanan dari luar keadaan dan tidak pernah memutuskan untuk menyerah sesulit apapun proses penyusunan skripsi ini.

Bapak dan ibu dosen Prodi Kimia yang telah membimbing dan mengarahkan penulis untuk menyelesaikan skripsi ini.

Sahabat dan teman-teman saya yang telah menemani dalam suka maupun duka.

Terima kasih atas segala waktu, usaha, dan dukungan yang telah diberikan.

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Wr. Wb

Alhamdulillahirabbil'alamin puji syukur penulis haturkan kepada ALLAH SWT yang telah melimpahkan rahmat, taufiq, serta hidayah-Nya sehingga skripsi yang berjudul “Pengolahan Limbah Plastik High Density Polyethylene (HDPE) Menggunakan Metode Pirolisis dengan Katalis Bentonit Teraktivasi Asam Sulfat (H_2SO_4)” dapat selesai dengan tepat waktu. Skripsi ini dibuat sebagai salah satu syarat untuk mencapai sarjana kimia.

Proses penulisan skripsi ini tidak lepas dari bantuan, dukungan, dan arahan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Ibu Hj. Dr. Khurul Wardati, M.Si. selaku dekan Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta.
2. Ibu Dr. Imelda Fajriati, M.Si. selaku Ketua Program Studi Kimia UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta.
3. Ibu Prof. Dr. Maya Rahmayanti, M.Si. selaku Dosen Pembimbing Skripsi yang telah sabar dan senantiasa memberikan bimbingan, nasehat, serta dukungan dalam menyelesaikan penelitian dan penyusunan skripsi.
4. Ibu Dr. Esti Wahyu Widowati, M.Si. selaku Dosen Pembimbing Akademik.
5. Bapak Indra Nafiyanto, S.Si. selaku Pranata Laboratorium Pendidikan Kimia UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta.
6. Bapak dan Ibu Dosen Program Studi Kimia, serta seluruh staff UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta yang telah mendampingi selama proses pembelajaran.
7. Kedua orang tua penulis, Bapak Jupri dan Ibu Sundarti. Terima kasih atas segala pengorbanan dan tulus kasih sayangnya kepada penulis. Semoga bapak dan ibu diberikan kesehatan selalu, bahagia, dan panjang umur. Menjadi suatu kebanggaan memiliki orang tua yang mendukung anaknya untuk mencapai cita-cita. Semoga setelah ini penulis dapat kebersamai bapak dan ibu lebih lama lagi.
8. Kakak kandung penulis satu-satunya Andang Wiratama, serta kakak ipar penulis Rizki Fi'ismatillah. Terima kasih atas segala dukungan yang telah diberikan.
9. Teman-teman seperbimbingan Dede Siska, Zakariya, Addin, dan Nurul Intan. Terima kasih atas bantuan dan semangat yang telah diberikan saat proses penelitian dan penulisan skripsi.
10. Teman-teman yang telah kebersamai suka-duka saat proses perkuliahan Arif Munandar, Reshinta Ayu, Nuzila Rif'atul, dan Sekar Dian. Terima kasih atas kebersamaan dan waktu yang telah diberikan untuk mendengarkan keluh kesah selama perkuliahan sampai penulisan skripsi.
11. Sahabat serta teman-teman Hydroxyl 2020 yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu. Semoga selalu diberikan keberkahan di setiap proses kedepannya, kesuksesan di jalan masing-masing, dan sehat selalu. Semoga dipertemukan lagi di lain kesempatan dengan versi yang lebih baik lagi.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih banyak memiliki kekurangan, karena keterbatasan penulis baik dari segi kepenulisan maupun pengetahuan. Oleh karena itu, penulis mengharapkan adanya masukan dan saran yang membangun

untuk kesempurnaan skripsi ini agar dapat memberikan manfaat kepada masyarakat luas.

Wassalamu'alaikum Wr. Wb.

Yogyakarta, 06 Agustus 2024

Penulis



DAFTAR ISI

PENGESAHAN SKRIPSI/TUGAS AKHIR	ii
SURAT PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI.....	iii
SURAT PERSETUJUAN SKRIPSI/TUGAS AKHIR	iv
HALAMAN MOTTO	v
HALAMAN PERSEMBAHAN	vi
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR LAMPIRAN.....	xii
ABSTRAK	1
BAB I PENDAHULUAN	3
A. Latar Belakang	3
B. Batasan Masalah	6
C. Rumusan Masalah	7
D. Tujuan Penelitian	7
E. Manfaat Penelitian	8
BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI	9
A. Tinjauan Pustaka.....	9
B. Landasan teori	13
C. Kerangka Berpikir dan Hipotesis Penelitian.....	22
BAB III METODE PENELITIAN.....	26
A. Waktu dan Tempat Penelitian.....	26
B. Alat-alat Penelitian.....	26
C. Bahan Penelitian	26
D. Prosedur Kerja Penelitian.....	26
E. Teknik Analisis Data.....	30
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	31
A. Aktivasi dan Karakterisasi Bentonit	31
B. Pirolisis Katalitik Limbah Plastik HDPE.....	40
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	51
A. Kesimpulan	51
B. Saran.....	52
DAFTAR PUSTAKA	53
LAMPIRAN.....	58

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Kode Plastik HDPE	13
Gambar 2.2. Skema Alat Pirolisis Skala Laboratorium	15
Gambar 2.3. Struktur Kristal Montmorillonit.....	17
Gambar 4. 1 Spektrum FTIR Bentonit Alam dan Bentonit Teraktivasi Asam.....	34
Gambar 4. 2 Difaktogram XRD Bentonit Alam dan Bentonit Asam.....	36
Gambar 4. 3 Mekanisme Reaksi Pirolisis Katalitik HDPE	41
Gambar 4. 4 Kromatogram GC-MS Minyak Hasil Pirolisis	46



DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Karakteristik HDPE.....	14
Tabel 2. 2 Standar dan Mutu (Spesifikasi) Bahan Bakar Minyak.....	21
Tabel 2. 3 Nilai Titik Nyala pada Minyak Tanah, Bensin, Solar, dan Biodiesel	22
Tabel 2. 4 Nilai kalor dari minyak tanah, bensin, solar, dan <i>biodiesel</i>	22
Tabel 4. 1 Hasil Pengamatan Visual	42
Tabel 4. 2 Kondisi Reaksi Pirolisis	43
Tabel 4. 3 Produk Minyak, Residu, dan Gas	45
Tabel 4. 4 Komposisi Senyawa Kimia Minyak Hasil Pirolisis	47
Tabel 4. 5 Hasil Uji Sifat Fisik dan Sifat Kimia.....	48



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Perhitungan	58
Lampiran 2 Hasil FTIR Bentonit Alam.....	65
Lampiran 3 Hasil FTIR Bentonit Teraktivasi Asam	67
Lampiran 4 Hasil Uji Viskositas	68
Lampiran 5 Hasil Uji Nilai Kalor	69
Lampiran 6 Hasil Analisis GC-MS	70
Lampiran 7 Dokumentasi Preparasi Katalis Bentonit Teraktivasi Asam.....	71
Lampiran 8 Alat Pirolisis	76



ABSTRAK

PENGOLAHAN LIMBAH PLASTIK *HIGH DENSITY POLYETHYLENE* (HDPE) MENGGUNAKAN METODE PIROLISIS DENGAN KATALIS BENTONIT TERAKTIVASI ASAM SULFAT (H_2SO_4)

Oleh:

Siska Wulandari
20106030004

Pembimbing:

Prof. Dr. Maya Rahmayanti, M.Si.

Limbah plastik HDPE merupakan salah satu jenis plastik yang banyak ditemukan di Indonesia karena tingginya penggunaan sebagai kemasan, sehingga diperlukan pengolahan yang efisien untuk permasalahan tersebut. Pengolahan limbah plastik *High Density Polyethylene* (HDPE) menggunakan metode pirolisis dengan katalis bentonit teraktivasi asam sulfat (H_2SO_4) telah dilakukan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik gugus fungsi dan kristalinitas dari katalis bentonit dan pengaruh penggunaan katalis tersebut terhadap produk minyak hasil pirolisis berdasarkan parameter nilai densitas, viskositas, nilai kalor, dan titik nyala serta komposisi kimia berdasarkan analisis menggunakan GC-MS. Aktivasi asam sulfat pada bentonit dilakukan dengan konsentrasi asam sulfat 1,5 M. Uji bentonit alam dengan FTIR menunjukkan beberapa puncak utama di daerah gugus fungsi yaitu 3618,46; 3417, 86; dan 1635,64 cm^{-1} . Difraktogram XRD mengindikasikan keberadaan montmorillonit pada puncak serapan $2\theta = 5,68^\circ$ dengan basal spacing sebesar 15,55 Å dan $2\theta = 19,80^\circ$ dengan *basal spacing* (d) sebesar 4,480 Å serta rata-rata ukuran kristal sebesar 5,8 nm. Setelah proses aktivasi katalis bentonit, terdapat pergeseran bilangan gelombang pada puncak serapan spektra FTIR dan terjadi perubahan nilai 2θ dan *basal spacing* yang mengalami peningkatan serta terjadi peningkatan rata-rata ukuran kristal menjadi 9,1 nm. Sampel HDPE yang digunakan sebanyak 100 g dengan penambahan katalis bentonit dilakukan dalam 5 variasi, yaitu 5; 10; 15; 20; dan 25 g. Didapatkan *yield* produk pirolisis tertinggi, yaitu pada penambahan katalis 5 g dengan sampel limbah plastik sebanyak 100 g. Produk cair yang dihasilkan pada variabel ini sebesar 67,13% dengan nilai densitas, viskositas, nilai kalor, dan titik nyala masing-masing sebesar 814,05 kg/m^3 , 2,3 cSt, 42,5 MJ/kg, dan 46 °C. Peningkatan jumlah katalis bentonit yang ditambahkan memberikan perbedaan kualitas hasil minyak pirolisis. Semakin banyak penambahan katalis bentonit, minyak yang dihasilkan semakin jernih. Analisis GC-MS minyak hasil pirolisis menghasilkan tiga komponen penyusun utama alkana seperti dekana, dodekana, dan tetradekana.

Kata kunci: Bahan bakar alternatif, bentonit, pirolisis, HDPE, limbah plastik

ABSTRACT

PROCESSING HIGH DENSITY POLYETHYLENE (HDPE) PLASTIC WASTE USING THE PYROLYSIS METHOD WITH BENTONITE CATALYST ACTIVATED BY SULFURIC ACID (H₂SO₄)

By:

Siska Wulandari
20106030004

Supervisor:

Prof. Dr. Maya Rahmayanti, S.Si., M.Si

HDPE plastic waste is one of the most commonly found types of plastic in Indonesia due to its high usage as packaging material, necessitating efficient processing methods to address this issue. The processing of High Density Polyethylene (HDPE) plastic waste using the pyrolysis method with sulfuric acid (H₂SO₄) activated bentonite catalyst has been conducted. This research aims to determine the functional group characteristics and crystallinity of bentonite catalyst and the effect of using this catalyst on the pyrolysis oil product based on parameters such as density, viscosity, calorific value, and flash point, as well as chemical composition based on GC-MS analysis. Sulfuric acid activation of bentonite was carried out with a sulfuric acid concentration of 1.5 M. FTIR test of natural bentonite showed several main peaks in the functional group region, namely 3618.46; 3417.86; and 1635.64 cm⁻¹. The XRD diffractogram indicates the presence of montmorillonite at the absorption peak of 2θ = 5.68° with a basal spacing (d) of 15.55 Å and 2θ = 19.80° with a basal spacing (d) of 4.480 Å, as well as an average crystal size of 5.8 nm. After the bentonite catalyst activation process, there is a shift in the wave number at the absorption peak of the FTIR spectra, and changes occur in the 2θ and basal spacing values, which increase, as well as an increase in the average crystal size to 9.1 nm. The HDPE sample used was 100 g with the addition of bentonite catalyst in 5 variations: 5; 10; 15; 20; and 25 g. The highest yield of pyrolysis product was obtained with the addition of 5 grams of catalyst to 100 g of plastic waste sample. The liquid product produced in this variable was 67.13% with density, viscosity, calorific value, and flash point of 814.05 kg/m³, 2.3 cSt, 42.5 MJ/kg, and 46 °C, respectively. The increase in the amount of bentonite catalyst added provided differences in the quality of the pyrolysis oil results. The more bentonite catalyst added, the clearer the oil produced. GC-MS analysis of the pyrolysis oil resulted in three main alkane components such as decane, dodecane, and tetradecane.

Keywords: Alternative fuel, bentonite, pyrolysis, HDPE, plastic waste

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Peningkatan jumlah sampah yang dihasilkan merupakan salah satu hasil kontribusi masyarakat yang semakin konsumtif. Selain itu, perkembangan industri, teknologi, dan populasi juga turut andil dalam permasalahan tersebut. Salah satu komposisi sampah yang menjadi tantangan utama lingkungan global dan sulit terdegradasi oleh alam adalah plastik (Alawa et al., 2023; Hendrawati et al., 2023). Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan menyatakan bahwa pada tahun 2022, Indonesia menghasilkan 19,45 juta ton sampah dengan persentase sampah plastik sebesar 18,7% atau sejumlah 3,6 juta sampah plastik (Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, 2022). Penggunaan plastik yang sangat tinggi disebabkan karena bahan plastik mempunyai keunggulan dalam hal biaya yang rendah serta daya tahan yang tinggi dalam berbagai macam aplikasi (Milbrandt et al., 2022).

Beberapa jenis plastik yang menimbulkan masalah lingkungan diantaranya adalah *Low-Density Polyethylene* (LDPE), *High-Density Polyethylene* (HDPE), *Polyethylene* (PE), *Polypropylene* (PP), *Polystyrene* (PS), *Polyvinyl Chloride* (PVC), dan *Polyethylene Terephthalate* (PET) (Miandad et al., 2017). Limbah kantong plastik bening sebagai sumber HDPE merupakan salah satu jenis plastik plastik yang banyak ditemukan di Indonesia karena tingginya penggunaan dalam sektor perdagangan (Hendrawati et al., 2023).

Berdasarkan sifat fisiknya, plastik digolongkan menjadi dua, yaitu *Thermoplastic* dan *Thermosets*. *Thermoplastic* memiliki sifat plastis yaitu akan meleleh jika dipanaskan pada suhu tertentu, tetapi tidak terjadi perubahan susunan kimianya. Selain itu juga memiliki sifat *reversible*. Contohnya: *Polystyrene* (PS), *Polyethylene* (PE), *Polypropylene* (PP), nylon, *Polyvinyl Chloride* (PVC), *Styrene Acrylonitrile* (SAN), *Polyethylene Terephthalate* (PET), *Acrylonitrile Butadiene Styrene* (ABS), *Polycarbonate* (PC), *Low-Density Polyethylene* (LDPE), *High-Density Polyethylene* (HDPE) dan lain-lain. Adapun *thermosets* merupakan plastik yang apabila dipanaskan tidak akan meleleh kembali (tidak dapat dicetak lagi) dan terbentuk arang. Biasanya digunakan pada bidang otomotif, elektronik, dan konstruksi. Jenis plastik ini tidak dapat didaur ulang dengan pemanasan karena dapat mengubah susunan molekulnya. Contohnya: melamin, epoksi, ester, alkid, multilayer, plastik metalisasi, poliuretan dan lain-lain (Astuti et al., 2020).

Pengolahan sampah yang sudah terlaksana sampai saat ini yaitu hanya sebatas *reuse* (penggunaan kembali), *recycle* (daur ulang) dan pembakaran. Ketiga metode tersebut mempunyai masing-masing kekurangan (Wardhany & Setyono, 2018). *Reuse* memiliki keterbatasan penggunaan yang berulang seperti pada beberapa jenis sampah plastik dengan kode tertentu yang terdapat pada kemasan. Seperti kode angka 01 (PETE/PET) yang ditujukan untuk plastik sekali pakai. (Hidayat et al., 2019). Hal tersebut dikarenakan *recycle* memiliki kelemahan pada penurunan kualitas bahan yang mengakibatkan rendahnya kualitas produk daur ulang, sehingga plastik jarang dilakukan daur ulang lebih dari satu kali (Geyer et al., 2017). Sedangkan kelemahan pada pembakaran sampah plastik secara terbuka

akan menghasilkan gas dan abu yang dapat mencemari udara, tanah dan masuk ke air tanah. Hal tersebut akan berdampak buruk terhadap lingkungan dan kesehatan manusia apabila tidak dilakukan pengelolaan produk samping yang dihasilkan dari pembakaran (Pathak et al., 2023). Oleh karena itu, diperlukan adanya metode lain yang lebih aman untuk kesehatan dan ramah lingkungan.

Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah pirolisis, dengan tujuan mengubah sampah plastik menjadi bahan bakar dan biasanya berlangsung pada suhu 200 – 1300 °C (Bridgwater, 2012). Pirolisis dapat dilakukan secara termal maupun katalitik. Namun, terdapat beberapa keterbatasan dalam pirolisis termal, yaitu seluruh prosesnya yang bergantung pada suhu dan minyak cair yang dihasilkan mengandung pengotor seperti residu klorin dan belerang (Borsodi *et al.*, 2011). Selain itu, sulit dilakukan pirolisis termal pada plastik jenis *Polyethylene* (PE) seperti HDPE, LDPE, dan PP karena struktur rantai hidrokarbonnya yang saling bersilangan sehingga sulit untuk diurai (Miandad et al., 2017). Oleh karena itu, perlu dilakukan penelitian lebih lanjut tentang pirolisis katalitik untuk mengatasi permasalahan pada pirolisis termal.

Dalam pirolisis juga dibutuhkan katalis untuk mempercepat proses *thermal cracking* dari hidrokarbon. Katalis yang biasa digunakan adalah katalis logam. Salah satu kekurangan katalis logam yaitu harganya yang cukup mahal dan tidak sepadan dengan produk yang dihasilkan. Salah satu bahan alam yang dapat digunakan sebagai katalis adalah bentonit. Bentonit merupakan jenis tanah liat dengan kemampuan meningkatkan produksi hidrokarbon ringan melalui perengkahan dan isomerisasi hidrokarbon normal dengan melibatkan karbokation.

Bentonit terbukti paling efektif sebagai katalis pirolisis diantara mineral lempung lainnya seperti kaolinit dan init. Hal tersebut dikarenakan adanya lapisan penahan air dan asam padat yang berfungsi sebagai penukar ion di ruang antar lapisannya. Oleh karena itu, dilakukan penelitian tentang "Pengolahan Limbah Plastik HDPE menggunakan Metode Pirolisis dengan Katalis Bentonit Teraktivasi Asam Sulfat (H_2SO_4)".

B. Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Limbah plastik HDPE yang digunakan berasal dari limbah rumah tangga yang didapatkan di daerah Sleman, Yogyakarta.
2. Suhu pirolisis yang digunakan yaitu 30-220 °C.
3. Katalis yang digunakan adalah bentonit alam teknis yang berasal dari PT. Indonesia Bentonit (INDOBENT) Pacitan.
4. Variabel rasio HDPE : Katalis (gram/gram) 10 : 0,5; 10 : 1; 10 : 1,5; 10 : 2; dan 10 : 2,5.
5. Aktivasi katalis bentonit menggunakan H_2SO_4 1,5 M.
6. Karakterisasi katalis bentonit menggunakan instrument spektrofotometer *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR) dan *X-Ray Diffraction* (XRD).
7. Karakterisasi minyak hasil pirolisis menggunakan *Gas Chromatography-Mass Spectrometry* (GC-MS) untuk mengidentifikasi komponen produk cair
8. Analisis sifat produk minyak hasil pirolisis yang meliputi uji densitas, viskositas, nilai kalor dan titik nyala.

C. Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana karakteristik gugus fungsi dan kristalinitas katalis bentonit berdasarkan spektrofotometer FTIR dan XRD?
2. Bagaimana pengaruh variasi konsentrasi katalis bentonit terhadap produk minyak yang dihasilkan?
3. Bagaimana komposisi kimia minyak hasil pirolisis berdasarkan analisis menggunakan GC-MS?
4. Bagaimana kualitas minyak hasil pirolisis berdasarkan parameter uji sifat fisika dan kimia meliputi uji nilai densitas, viskositas, nilai kalor, dan titik nyala?

D. Tujuan Penelitian

Tujuan dilakukannya penelitian ini adalah untuk:

1. Menganalisis karakteristik gugus fungsi dan kristalinitas dari katalis bentonit berdasarkan spektrofotometer FTIR dan XRD.
2. Menganalisis pengaruh variasi konsentrasi katalis bentonit terhadap produk minyak hasil pirolisis limbah plastik HDPE.
3. Menganalisis komposisi kimia minyak hasil pirolisis berdasarkan analisis menggunakan GC-MS.
4. Menganalisis kualitas minyak hasil pirolisis berdasarkan parameter uji sifat fisika dan kimia meliputi uji nilai densitas, viskositas, nilai kalor, dan titik nyala

E. Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah didapatkan pengetahuan baru tentang pengolahan limbah plastik jenis HDPE menjadi bahan bakar alternatif menggunakan metode pirolisis dengan bantuan katalis bahan alam yaitu bentonit.



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, didapatkan kesimpulan bahwa:

1. Hasil analisis FTIR dan XRD bentonit menunjukkan puncak utama pada 3618,46; 3417, 86; dan 1635,64 cm^{-1} dan difraksi utama pada $2\theta = 5,68^\circ$ dan $2\theta = 19,80^\circ$. Aktivasi pada bentonit menyebabkan pergeseran puncak serapan spektra FTIR dan mengubah nilai 2θ dan jarak antar bidang, serta peningkatan ukuran kristal dari 5,8 nm menjadi 9,1 nm. Hal tersebut menunjukkan bahwa aktivasi katalis bentonit berpengaruh terhadap keberadaan gugus fungsi dan kristalinitas katalis bentonit.
2. Penggunaan katalis bentonit Penambahan katalis dengan variasi konsentrasi berpengaruh terhadap total waktu yang diperlukan untuk proses pirolisis. Semakin banyak penambahan katalis bentonit, total waktu yang diperlukan semakin singkat.
3. Minyak hasil pirolisis memiliki nilai densitas, viskositas, nilai kalor dan titik nyala masing-masing sebesar 814,05 kg/m^3 , 2,3 cSt, 42,5 MJ/kg, dan 46 $^\circ\text{C}$. Hasil tersebut menunjukkan bahwa minyak hasil pirolisis memiliki karakteristik yang setara dengan bahan bakar jenis solar berdasarkan SNI 3506 – 2017.
4. Analisis GC-MS minyak hasil pirolisis menghasilkan tiga komponen penyusun utama alkana seperti dekana, dodekana, dan tetradekana. Beberapa komponen senyawa yang teridentifikasi minyak solar yaitu memiliki distribusi atom

karbon C_{14} - C_{18} . Sedangkan analisis GC-MS minyak hasil pirolisis memiliki distribusi atom karbon C_{10} - C_{14} .

B. Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, terdapat beberapa saran untuk penelitian selanjutnya:

1. Diperlukan pengujian lebih lanjut mengenai keefektivitasan dan titik optimal penambahan katalis bentonit terhadap proses pirolisis, sehingga didapatkan hasil yang lebih optimum.
2. Diperlukan pengujian lebih lanjut mengenai parameter tambahan seperti angka setana, indeks setana, titik tuang, kandungan sulfur, residu karbon, kandungan air, korosi bilah tembaga, kandungan abu, kandungan sedimen, bilangan asam kuat dan total, partikulat serta lubrisitas sesuai dengan SNI 3506 – 2017 agar dapat di uji coba pada mesin.

DAFTAR PUSTAKA

- Alawa, B., Choudhary, J., & Chakma, S. (2023). Discernment of synergism in co-pyrolysis of HDPE and PP waste plastics for production of pyro-oil: Mechanistic investigation with economic analysis and health risk assessment. *Process Safety and Environmental Protection*, 169, 107–131. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2022.10.077>
- Arjuansyah, M., Aditya Saputra, M., Zurohaina, Ridwan, K. A., & Zikri, A. (2021). Proses Pembuatan Bahan Bakar Cair Limbah Plastik Hdpe Dan Ldpe Influence of the Amount of Alumina Silica Catalyst on the Process of Making Liquid Fuel Plastic Hdpe and Ldpe. *Kinetika*, 12(3), 6–12.
- Astuti, D. A., Wahyudi, J., Ernawati, A., & Aini, S. Q. (2020). Feasibility Study of Plastic Pellet in Pati District, Central Java. *Jurnal Litbang*, 16, 95–112.
- Azis, H. A., & Rante, H. B. (2021). Produksi Bahan Bakar Cair Dari Limbah Plastik Polypropylene (PP) Metode Pirolisis. *Journal of Chemical Process Engineering*, 6(1), 18–23.
- Aziz, I., Tafdila, M. A., Nurbayti, S., Andhani, L., & Permata, W. (2019). Upgrading Crude Biodiesel dari Minyak Goreng Bekas menggunakan Katalis H-Zeolit . *Jurnal Kimia Valensi*, 5(1), 79–86.
- Bridgwater, A. V. (2012). Review of Fast Pyrolysis of Biomass and Product Upgrading. *Biomass and Bioenergy*, 38, 68–94. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2011.01.048>
- Budsareechai, S., Hunt, A. J., & Ngernyen, Y. (2019). Catalytic pyrolysis of plastic waste for the production of liquid fuels for engines. *RSC Advances*, 10, 5844–5857.
- Bukit, F. R. A., Frida, E., Bukit, N., & Bukit, B. F. (2021). Karakterisasi dan Analisis Bentonit Alam Sebagai Bahan Pengisi Komposit. *Juitech*, 5(2), 54–62.
- Dewinara Restu Yudandhiss, C. (2022). *Quality Assurance on Pour Point ASTM D-97, Flash Point ASTM D-93 and Kinematic Viscosity ASTM D-445 at PPSDM Migas Cepu Petroleum Laboratory* (Vol. 7, Issue 1).
- Ding, K., Liu, S., Huang, Y., Liu, S., & Zhou, N. (2019). Catalytic microwave-assisted pyrolysis of plastic waste over NiO and HY for gasoline-range hydrocarbons production. *Energy Conversion and Management*, 196, 1316–1325.
- Dobrovolskaya, I., Yudin, V. E., Popryadukhin, P. V., & Ivan'kova, E. M. (2018). *Polymer Scaffolds for Tissue Engineering*. Mediapapir.
- Fauzi, M. A. (2022). *Karakteristik Nilai Kalor, Kadar Air, dan Kadar Abu Briket Limbah Pelepah Bambu dengan Perekat Tepung Tapioka*. Universitas Tidar.
- Fisli, A., Sumardjo, & Mujinem. (2007). Isolasi dan Karakterisasi Montmorillonit dari Bentonit Sukabumi (Indonesia). *Jurnal Sains Materi Indonesia*, 10(1), 12–17.

- Geyer, R., Jambeck, J. R., & Law, K. L. (2017). Production, use, and fate of all plastics ever made. *Science Advances*, 3(7). <https://doi.org/10.1126/sciadv.1700782>
- Gutama, H. (2022). *Analisis Kualitas Minyak Hasil Pirolisis Sampah Popok [Skripai]*. Universitas Islam Indonesia.
- Hanifah, A. (2022). *Modifikasi dan Pemanfaatan Bentonit Alam sebagai Coagulation Agent Pengolahan Air Limbah Pabrik Tapioka*. Universitas Sriwijaya.
- Hendrawati, Liandi, A. R., Solehah, M., Setyono, M. H., Aziz, I., & Siregar, Y. D. I. (2023a). Pyrolysis of PP and HDPE from plastic packaging waste into liquid hydrocarbons using natural zeolite Lampung as a catalyst. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, 7, 1–7.
- Hendrawati, Liandi, A. R., Solehah, M., Setyono, M. H., Aziz, I., & Siregar, Y. D. I. (2023b). Pyrolysis of PP and HDPE from plastic packaging waste into liquid hydrocarbons using natural zeolite Lampung as a catalyst. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, 7. <https://doi.org/10.1016/j.cscee.2022.100290>
- Hidayat, Y. A., Zamal, M. A., & Kiranamahsa, S. (2019). A Study of Plastic Waste Management Effectiveness in Indonesia Industries. *AIMS Energy*, 7, 350–370.
- Hu, M., Cui, B., Xiao, B., Luo, S., & Guo, D. (2020). Insight into the Ex Situ Catalytic Pyrolysis of Biomass over Char Supported Metals Catalyst: Syngas Production and Tar Decomposition. *Nanomaterials*, 10(7), 1397.
- Jahiding, M., Nurfianti, E., Hasan, E. S., Rizki, R. S., & Abstrak, nfo. (2020). Analisis Pengaruh Temperatur Pirolisis terhadap Kualitas Bahan Bakar Minyak dari Limbah Plastik Polipropilena (Analysis of Pyrolysis Temperature Effect on Fuel-Oil Quality from Polypropylene Plastic Waste). *Gravitasi*, 10(1), 6–10. <https://bestjournal.untad.ac.id/index.php/GravitasiFisika>
- Jahiding, M., Nurfianti, E., Hasan, E. S., Rizki, R. S., & Mashuni. (2020). Analisis Pengaruh Temperatur Pirolisis terhadap Kualitas Bahan Bakar Minyak dari Limbah Plastik Polipropilena. *Gravitasi*, 19(1), 6–10.
- Kaur, N., & Kishore, D. (2012). Montmorillonite: An Efficient, Heterogeneous and Green Catalyst for Organic Synthesis. *J. Chem. Pharm. Res.*, 4(2), 991–1015.
- Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. (2022). *Grafik Komposisi Sampah*. <https://sipsn.menlhk.go.id/sipsn/>
- Komadel, P. (2003). Chemically modified smectites. *Clay Minerals*, 38(1), 127–138.
- Kumar, M., Upadhyay, S. N., & Mishra, P. K. (2020). Effect of Montmorillonite clay on pyrolysis of paper mill waste. *Bioresource Technology*, 307. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.123161>
- Kurniawati, D., Putra, N., Abdullah, N., Ibnu Hakim, I., & Nurrokhmat, A. (2021). An experimental analysis of diesel fuel produced from HDPE (high-density

- polyethylene) waste using thermal and catalytic pyrolysis with passive heat pipe cooling system. *Thermal Science and Engineering Progress*, 23. <https://doi.org/10.1016/j.tsep.2021.100917>
- Lestari, I. P., Mahatmanti, F. W., & Haryani, S. (2018). Efektivitas Bentonit Teraktivasi sebagai Penurun Kadar Ion Fosfat dalam Perairan. *Indonesian Journal of Chemical Science*, 5(2), 136–141.
- Lubis, D. A., Arifin, A., & Fitrianiingsih, Y. (2022). Pengolahan Sampah Plastik HDPE (High Density Polyethylene) dan PET (Polyethylene Terephthalate) Sebagai Bahan Bakar Alternatif dengan Proses Pirolisis. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 20(4), 735–742. <https://doi.org/10.14710/jil.20.4.735-742>
- Maqsood, T., Dai, J., Zhang, Y., Guang, M., & Li, B. (2021). Pyrolysis of Plastic Species: A Review of Resources and Products. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 159. <https://doi.org/10.1016/j.jaap.2021.105295>
- Marhayuni, Y. (2018). *Preparasi Ni/Bentonit Teraktivasi Asam Menggunakan Reduktor Ekstrak Kulit Buah Naga (Hylocereus Polyrhizus) dan Aplikasinya sebagai Katalis dalam Sintesis One Pot System Mentol dari Sitronelal*. UIN Sunan Kalijaga.
- Masdar, F. (2017). *Analisis Pengaruh Parameter Proses Injection Molding Tipe Plunger Terhadap Kecacatan Dan Kekuatan Produk*. ITERA.
- Mayora, E. M., Arifin, & Nugraheni, P. W. (2023). Pirolisis Limbah Plastik Jenis Low Density Polyethylene (LDPE) dan Polypropylene (PP) Menggunakan Katalis Zeolit Alam. *Teknologi Lingkungan Lahan Basah*, 11(3), 773–779.
- Miandad, R., Barakat, M. A., Aburiazaiza, A. S., Rehan, M., Ismail, I. M. I., & Nizami, A. S. (2017a). Effect of plastic waste types on pyrolysis liquid oil. *International Biodeterioration and Biodegradation*, 119, 239–252. <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2016.09.017>
- Miandad, R., Barakat, M. A., Aburiazaiza, A. S., Rehan, M., Ismail, I. M. I., & Nizami, A. S. (2017b). Effect of plastic waste types on pyrolysis liquid oil. *International Biodeterioration and Biodegradation*, 119, 239–252. <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2016.09.017>
- Milbrandt, A., Coney, K., Badgett, A., & Beckham, G. T. (2022). Quantification and Evaluation of Plastic Waste in the United States. *Resource, Conservation and Recycling*, 183.
- Novarini, N., Kurniawan, S., Rusdianasari, R., & Bow, Y. (2021). Kajian Karakteristik dan Energi pada Pirolisis Limbah Plastik Low Density Polyethylene (LDPE). *Jurnal Teknik Kimia Dan Lingkungan*, 5(1), 61–70.
- Nugraha, I., & Hidayati, K. (2017). Pengaruh Penambahan Montmorillonit pada Sifat Mekanik Material Komposit Edible Film Gelatin Ceker Ayam-Montmorillonit. In *ALCHEMY : Journal of Chemistry | EISSN* (Vol. 5).

- Nugrahaningtyas, K. D., Widjonarko, D. M., Daryani, & Haryanti, Y. (2016). Kajian Aktivasi H₂SO₄ terhadap Proses Pemiliran AL₂O₃ pada Lempung Alam Pacitan. *ALCHEMY Jurnal Penelitian Kimia*, 12(2), 190–203.
- Nursyamsyi, & Theresia, V. (2017). Pengaruh Penambahan Limbah Plastik HDPE Sebagai Substitusi Pasir Pada Campuran Batako. *Jurnal Teknik Sipil*, 1(1), 1–5.
- Parwatha, I., Kusuma, C., & Indriyanto, M. (2022). Analisa Ekonomi Pemanfaatan Gas LNG sebagai Bahan Bakar Penggerak Kapal Ferry. *Journal of Industrial Engineering & Management Research*, 3(5), 121–122.
- Pathak, G., Nichter, M., Hardon, A., Moyer, E., Latkar, A., Simbaya, J., Pakasi, D., Taqueban, E., & Love, J. (2023). Plastic Pollution and the Open Burning of Plastic Wastes. *Global Environmental Change*, 80. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2023.102648>
- Pertiwi, A. E. (2022). *Pembuatan dan Pemanfaatan Bentonit Aktif sebagai Adsorben Malachite Green*. Universitas Sriwijaya.
- Prianto, D. W. (2018). *Pirolisis Sampah Plastik Bungkus Mie Instan dengan Memanfaatkan Abu Vulkanik Gunung Merapi sebagai Katalis* (pp. 1–8). Prodi Teknik Lingkungan UII.
- Rahmadanty, N. (2022). *Pirolisis Sampah Plastik Jenis Low Density Polyethylene (LDPE) Menggunakan Katalis Pasir Merapi Sebagai Alternatif Bahan Bakar Minyak (BBM)*. UII.
- Rahmadiny, A., Bargreitha, N., Anggiawan, T., Pamungkas, P., Chandra, R. R., Angky, M., & Setiawan, A. A. (2019). *Penggunaan Material Limbah High Density Polyethylene (HDPE) Sebagai Bahan Pengganti Agregat Kasar Pada Campuran Beton*. 6.
- Ramadhan, M. (2021). *Contoh Uji Titik Nyala dan Titik Bakar dengan Cleveland Open Cup pada Aspal*. ASDAR.ID.
- S. Mahmudha, & Nugraha, I. (2016). Pengaruh Penggunaan Bentonit Teraktivasi Asam sebagai Katalis Terhadap Peningkatan Kandungan Senyawa Isopulegol pada Minyak Sereh Wangi Kabupaten Gayo Lues-Aceh. *Chimica et Natura Acta*, 4(3), 123–129.
- Seidi, A., Benhamou, M., Khalil, D., Aalaoul, M., & Bennani, M. N. (2024). Elaboration and Characterization of a Natural Bentonite-Poly (Ethylene Glycol) Composite: Development of an Exact Theoretical Study in Function of the Polymer-Density . *Chemical Physics Impact* , 9, 1–18.
- Sopiarini, P., & Taba, P. (2015). Preparation and Characterization Ni-Mo/Montmorillonite as a Catalyst in Cracking Process. In *J. Chem. Res* (Vol. 3).
- Sumartono, Ibrahim, H., & Sarjianto. (2020). Uji Karakterisasi Bahan Bakar Minyak (BBM) dari Limbah Plastik. *IRO20*, 380–385.

- T. M. Hidayat, & Nugraha, I. (2018). Kajian Kinerja Ca-Bentonit Kabupaten Pacitan-Jawa Timur Teraktivasi Asam Sulfat sebagai Material Lepas Lambat (Slow Release Material) Pupuk Organik Urin Sapi. *Journal of Materials Chemistry*, 1(1), 27–37.
- Trisnayanti, N. P. (2019). *Penggunaan Katalis dalam Pirolisis Sampah Plastik Sebagai Solusi Penanganan Sampah Plastik dan Produksi Energi*. Universitas Indonesia.
- Wang, R., Li, H., Ge, G., Dai, N., Rao, J., Ran, H., & Zhang, Y. (2021). Montmorillonite-based two-dimensional nanocomposites: Preparation and applications. *Molecules*, 26(9). <https://doi.org/10.3390/molecules26092521>
- Wardhany, L. K., & Setyono, R. I. (2018). *Bahan Bakar Alternatif dari Limbah Plastik Polypropylene menggunakan Metode Pirolisis Microwave*. ITS.
- Weldan, F. S. (2018). Analisa Laju Pemanasan Terhadap Hasil Produk Pirolisis Sampah Plastik Jenis PP untuk Bahan Bakar Alternatif. *Simki-Techsain*, 2(7).
- Zhang, L., Bao, Z., Xia, S., Lu, Q., & Walters, K. B. (2018). Catalytic pyrolysis of biomass and polymer wastes. In *Catalysts* (Vol. 8, Issue 12). MDPI. <https://doi.org/10.3390/catal8120659>