

Pemanfaatan Adsorben Batu Zeolit dengan Variasi Mesh untuk Optimalisasi pada Pyro Reaktor

Dominggus G. H. Adoe^{1*)}, Aprilianus Tri Putra²⁾, Jack C. A. Pah³⁾, Adi Y. Tobe⁴⁾, Jefri Samuel Bale⁵⁾, Defmit B. N. Riwu⁶⁾

¹⁻⁶⁾Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Sains dan Teknik Universitas Nusa Cendana
Jl. Adisucipto, Penfui-Kupang, NTT 85001, Tlp. (0380)881597

*Corresponding author, E-mail: godliefmesin@staf.undana.ac.id

ABSTRAK

Peningkatan jumlah sampah plastik dan kebutuhan energi alternatif mendorong pengembangan teknologi pirolisis sebagai metode pengolahan limbah yang berpotensi menghasilkan bahan bakar. Salah satu upaya untuk meningkatkan kualitas minyak pirolisis adalah pemanfaatan batu zeolit sebagai adsorben. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi ukuran mesh batu zeolit terhadap karakteristik fisika minyak hasil pirolisis pada pyro-reaktor. Variasi mesh zeolit yang digunakan meliputi mesh 50, 100, dan 150, dengan bahan baku sampah plastik jenis Low-Density Polyethylene (LDPE), Polystyrene (PS), dan Polypropylene (PP). Proses pirolisis dilakukan pada suhu 300 °C selama 4 jam dengan massa zeolit 50 gram. Parameter yang dianalisis meliputi massa jenis, viskositas, dan nilai kalor minyak pirolisis. Hasil penelitian menunjukkan bahwa variasi ukuran mesh zeolit berpengaruh terhadap kualitas minyak pirolisis. Zeolit dengan mesh 150 menghasilkan minyak dengan kualitas paling optimal, ditunjukkan oleh nilai kalor tertinggi dan massa jenis yang mendekati standar bahan bakar solar. Selain itu, perbedaan jenis plastik memengaruhi hasil pirolisis, di mana plastik PP menghasilkan nilai kalor tertinggi, PS menghasilkan massa jenis lebih tinggi, dan LDPE menghasilkan minyak dengan viskositas lebih besar. Pemanfaatan batu zeolit sebagai adsorben, khususnya mesh 150, efektif meningkatkan kualitas minyak pirolisis dan berpotensi sebagai bahan bakar alternatif.

ABSTRACT

The increasing amount of plastic waste and the growing demand for alternative energy sources have encouraged the development of pyrolysis technology as a waste treatment method with the potential to produce fuel. One effort to improve the quality of pyrolysis oil is the utilization of natural zeolite as an adsorbent. This study aims to analyze the effect of zeolite mesh size variation on the physical characteristics of pyrolysis oil produced in a pyro-reactor. The zeolite mesh sizes used in this study were mesh 50, 100, and 150, with plastic waste feedstock consisting of Low-Density Polyethylene (LDPE), Polystyrene (PS), and Polypropylene (PP). The pyrolysis process was conducted at a temperature of 300 °C for 4 hours using 50 grams of zeolite. The analyzed parameters included density, viscosity, and heating value of the pyrolysis oil. The results showed that variations in zeolite mesh size affected the quality of the pyrolysis oil. Zeolite with a mesh size of 150 produced the most optimal oil quality, as indicated by the highest heating value and density values approaching diesel fuel standards. In addition, differences in plastic types influenced the pyrolysis results, where PP produced the highest heating value, PS resulted in higher density, and LDPE produced oil with higher viscosity. The utilization of natural zeolite as an adsorbent, particularly mesh 150, is effective in improving the quality of pyrolysis oil and shows potential as an alternative fuel.

Keywords: *pyrolysis, natural zeolite, mesh size variation, plastic waste, pyrolysis oil*

1. PENDAHULUAN

Zeolit merupakan suatu kelompok mineral yang dihasilkan dari proses hidrotermal pada batuan beku basa. Mineral ini biasanya dijumpai mengisi celah celah ataupun rekahan dari batuan tersebut. Selain itu zeolit juga merupakan endapan dari aktivitas vulkanik yang banyak mengandung unsur

silika. Zeolit pertama kali ditemukan oleh Baron Axel Frederick pada tahun 1756 di alam untuk jenis kristal dengan struktur yang berongga. Mineral zeolit terbentuk di berbagai tempat bumi, termasuk juga di dasar laut. Bentuk kristal zeolit relatif teratur dengan rongga yang saling berhubungan ke segala arah menyebabkan permukaan zeolit menjadi sangat luas sehingga baik bila digunakan sebagai adsorben. [1]. Secara struktural, zeolit memiliki kerangka kristal berongga tiga dimensi yang saling terhubung ke segala arah, menghasilkan luas permukaan yang sangat besar. Sifat inilah yang menjadikan zeolit unggul sebagai bahan adsorben maupun katalis dalam berbagai aplikasi industri dan lingkungan.

Dengan karakteristik struktur yang unik tersebut, zeolit banyak dimanfaatkan dalam berbagai proses kimia dan lingkungan, salah satunya pada proses pirolisis. Zeolit sebagai bahan adsorben memiliki potensi besar dalam proses tersebut karena memiliki sifat fisik dan kimia yang mendukung seperti struktur mikropori, kestabilan termal, dan kemampuan selektif dalam menangkap molekul tertentu. Efektivitas zeolit sebagai adsorben dalam pirolisis tidak hanya dipengaruhi oleh komposisi kimia, tetapi juga oleh ukuran partikel atau mesh yang digunakan. Ukuran mesh menentukan luas permukaan zeolit yang bersentuhan langsung dengan produk pirolisis, semakin kecil ukuran mesh (semakin halus), maka semakin besar luas permukaan dan potensi daya adsorpsinya. Namun, ukuran partikel yang terlalu halus juga dapat menimbulkan resistansi aliran gas dalam reaktor, sehingga diperlukan keseimbangan antara luas permukaan dan kelancaran aliran [2].

Berdasarkan berbagai hasil penelitian tersebut, dapat diketahui bahwa zeolit memiliki karakteristik yang sangat baik sebagai bahan adsorben dalam proses pirolisis. Namun, efektivitasnya masih dipengaruhi oleh ukuran partikel (mesh) yang digunakan, karena ukuran mesh menentukan luas permukaan aktif dan kemampuan zeolit dalam berinteraksi dengan uap hasil pirolisis. Oleh karena itu, pada penelitian ini peneliti akan melakukan kajian tentang pemanfaatan adsorben batu zeolit dengan variasi ukuran mesh untuk optimalisasi pada pyro-reaktor. Adsorben merupakan zat berpori yang memiliki daya adsorpsi selektif dan dapat mengikat zat-zat tertentu baik secara fisik maupun kimia. Salah satu bahan yang banyak digunakan sebagai adsorben adalah batu zeolit, yang memiliki struktur kristal berongga dengan pori-pori saling terhubung sehingga luas permukaannya sangat besar dan efektif untuk mengikat molekul tertentu [6]. Penelitian ini bertujuan untuk mengoptimalkan pengaruh perubahan ukuran mesh terhadap luas permukaan dan efektivitas zeolit sebagai adsorben dalam proses pirolisis, dengan melakukan perbandingan hasil pada setiap variasi mesh batu zeolit untuk memperoleh ukuran optimal dalam menghasilkan minyak pirolisis berkualitas.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen laboratorium, dengan tujuan untuk mengetahui pengaruh variasi ukuran mesh batu zeolit terhadap proses optimalisasi dalam pyro reaktor. Variasi ukuran mesh zeolit yang digunakan adalah mesh 50, 100, dan 150. Setiap variasi diuji untuk melihat kemampuannya dalam menyerap minyak hasil pirolisis, serta pengaruhnya terhadap kualitas hasil pirolisis yang dihasilkan.

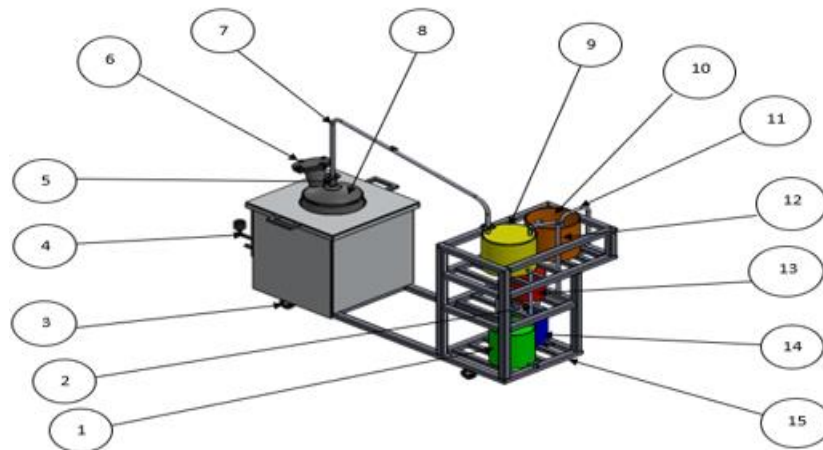
2.1 Variabel Penelitian

Dalam penelitian ini, variabel penelitian terdiri atas variabel bebas, variabel terikat, dan variabel kontrol. Variabel bebas yang digunakan adalah ukuran mesh batu zeolit sebagai adsorben atau media penyaring dalam proses pirolisis di dalam pyro reaktor, yaitu mesh 50, mesh 100, dan mesh 150, di mana batu zeolit berfungsi untuk menyerap atau mengadsorpsi senyawa hasil pirolisis sehingga perbedaan ukuran mesh dapat memengaruhi efektivitas penyaringan produk akhir. Variabel terikat dalam penelitian ini adalah karakteristik minyak pirolisis yang dihasilkan akibat variasi ukuran mesh batu zeolit, meliputi nilai kalor minyak pirolisis (Joule) yang menunjukkan kandungan energi, massa jenis minyak pirolisis (g/mL) yang menyatakan tingkat kerapatan minyak, serta viskositas minyak

pirolisis ($\text{mPa}\cdot\text{s}$) yang menggambarkan tingkat kekentalan dan hambatan aliran minyak. Sementara itu, variabel kontrol merupakan variabel yang dijaga tetap agar tidak memengaruhi hasil penelitian, yaitu suhu pirolisis sebesar $300\text{ }^{\circ}\text{C}$ dan waktu proses pirolisis selama 4 jam.

2.2 Pengujian Alat

Prosedur penelitian ini diawali dengan persiapan alat dan bahan utama berupa batu zeolit serta saringan dengan variasi ukuran mesh 50, 100, dan 150, kemudian dibuat saringan mesh berdiameter 20 cm dan tabung adsorben menggunakan pipa 1/2 in dengan panjang 10 cm dan diameter 2,5 cm untuk masing-masing variasi mesh. Batu zeolit selanjutnya diayak menggunakan saringan mesh 50, 100, dan 150 guna memperoleh ukuran partikel sesuai variasi, kemudian hasil ayakan ditimbang dengan massa 50 gram, dimasukkan ke dalam tabung adsorben sesuai ukuran mesh, dan dipasang pada jalur keluaran uap dari pyro-reaktor. Proses pirolisis kemudian dilakukan pada suhu $300\text{ }^{\circ}\text{C}$ selama 4 jam dengan menggunakan tiga jenis sampah plastik, yaitu LDPE (kantong kresek), Polystyrene (PS/sterofom), dan Polypropylene (PP/gelas aqua), di mana uap hasil pirolisis dialirkan melalui tabung adsorben sesuai variasi mesh sebelum dikondensasikan untuk menghasilkan minyak pirolisis. Minyak pirolisis yang diperoleh dari setiap variasi mesh selanjutnya dianalisis dengan mengukur volume, nilai kalor, massa jenis, dan viskositas, kemudian data dari variasi mesh 50, 100, dan 150 dibandingkan untuk menentukan ukuran mesh batu zeolit yang paling optimal dalam menyerap dan meningkatkan kualitas hasil pirolisis.



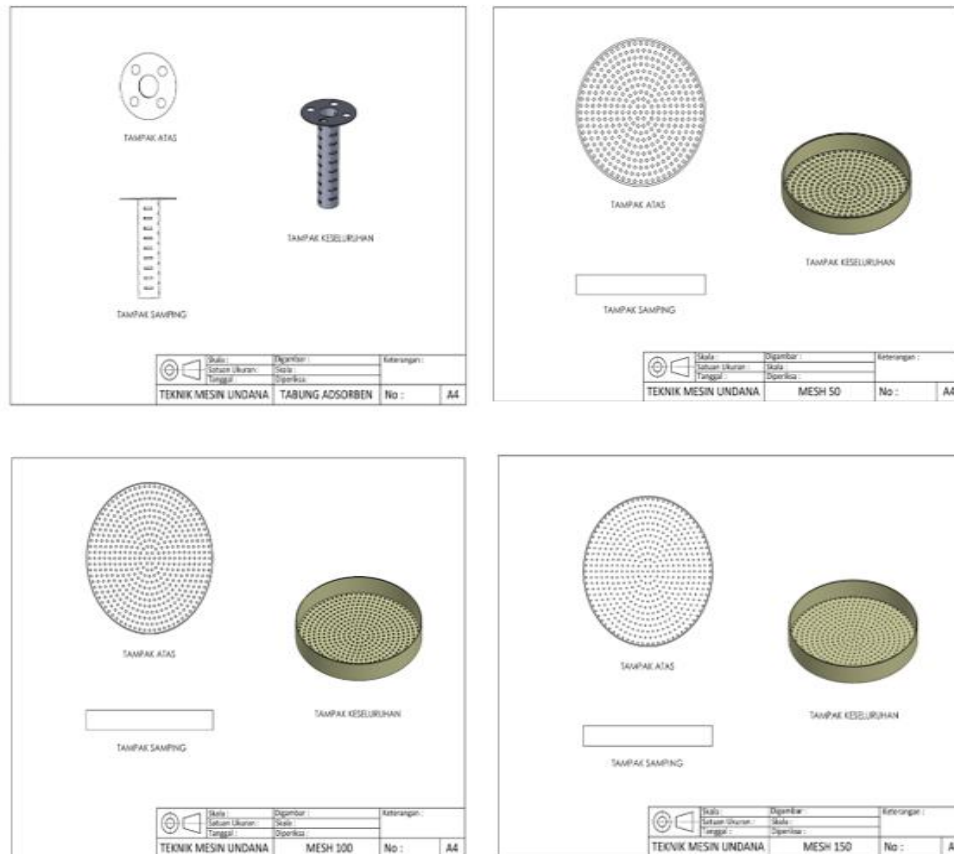
Gambar 1. Alat Pirolisis

Keterangan Gambar:

- Tabung minyak pertama
- Pipa aliran minyak dari kondensor pertama ke tabung minyak
- Roda
- Kompur oli
- Tabung adsorben
- Tutupan tabung reaktor
- Pipa aliran gas dari tabung reaktor ke kondensor
- Tabung reaktor
- Kondensor pertama
- Bak penampung air

Selang saluran air dari bak air ke kondensor 1
 Selang saluran air dari kondensor 1 ke kondensor 2
 Kondensor ke dua
 Tabung minyak ke dua
 Rangka

2.3 Tabung Adsorben dan Saringan Mesh



Gambar 2. Tabung Adosben Dan Saringan Mesh.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam penelitian ini, data hasil pirolisis dianalisis berdasarkan volume minyak yang dihasilkan, massa jenis, viskositas, dan nilai kalor minyak pirolisis. Proses pirolisis menggunakan tiga jenis sampah plastik, yaitu kantong kresek/ Low-Density Polyethylene (LDPE), gelas aqua/ polypropylene (PP), styrofoam Polystyrene (PS), dengan variasi ukuran mesh batu zeolit sebagai katalis, yaitu mesh 50, mesh 100, dan mesh 150. Hasil pengukuran temperature pada proses pirolisis dilakukan pada suhu dalam tabung reaktor yaitu 300°C dengan waktu reaksi selama 4 jam. Batu zeolit yang digunakan memiliki karakteristik kimia berupa kandungan silika (SiO_2) dan alumina (Al_2O_3) yang bersifat asam dan berperan dalam proses perengkahan, dengan massa zeolit sebesar 50 gram pada setiap pengujian. Volume minyak hasil pirolisis diukur dalam satuan mililiter (mL), massa jenis ditentukan

menggunakan piknometer, viskositas diuji menggunakan viskosimeter Ostwald, dan nilai kalor dianalisis menggunakan Bomb Kalorimeter dalam satuan Joule.

3.1 Hasil Pengujian

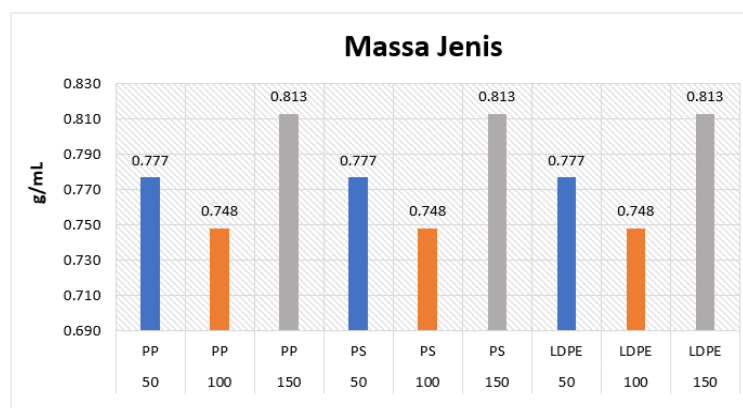
Hasil Perhitungan Karakteristik Fisika Masing-Masing Mesh

Tabel 1. Hasil Perhitungan Karakteristik Fisika Masing-Masing Mesh

No	Mesh	Jenis Plastik	Massa Jenis (g/mL)	Viskositas (mPa·s)	Nilai Kalor (Joule)
1	Mesh 50	PP	0,77727	0,0012	173,157
2	Mesh 100	PP	0,74803	0,0009	183,908
3	Mesh 150	PP	0,71338	0,0009	218,283
4	Mesh 50	PS	0,77727	0,0005	196,369
5	Mesh 100	PS	0,74803	0,0005	192,501
6	Mesh 150	PS	0,71338	0,0005	189,064
7	Mesh 50	LDPE	0,77727	0,0009	174,875
8	Mesh 100	LDPE	0,74803	0,0008	171,008
9	Mesh 150	LDPE	0,71338	0,0007	187,205

3.2 Pembahasan

Pengaruh Variasi Mesh Terhadap Massa Jenis Minyak Pirolisis



Gambar 3. Pengaruh Variasi Mesh Terhadap Massa Jenis Minyak Pirolisis

Berdasarkan, massa jenis minyak yang dihasilkan dari proses pirolisis ketiga jenis plastik dengan menggunakan zeolit mesh 50 menunjukkan nilai yang sama, yaitu sebesar 0,777 g/mL pada plastik Aqua Gelas (PP), styrofoam (PS), dan kantong kresek (LDPE). Kesamaan nilai massa jenis ini mengindikasikan bahwa pada ukuran katalis mesh 50, perbedaan jenis plastik belum memberikan pengaruh signifikan terhadap karakteristik densitas minyak pirolisis yang dihasilkan. Hal ini dikarenakan polypropylene merupakan poliolefin (gugus alkena) yang mudah terdegradasi akibat struktur percabangannya serta proporsi karbon tersier yang lebih tinggi pada rantai polypropylene,

sehingga pembelahan termal ikatan C–C lebih mudah terjadi. Pada temperatur reaktor yang tinggi ($>300\text{ }^{\circ}\text{C}$), pembentukan endapan (char) lebih mendominasi karena karbon terbentuk melalui rekombinasi fragmen hasil perengkahan. Perbedaan densitas minyak pirolisis juga dipengaruhi oleh temperatur reaktor, di mana semakin tinggi temperatur maka semakin banyak molekul yang terdekomposisi sehingga dapat memengaruhi nilai massa jenis cairan minyak pirolisis [24]. Hal ini sejalan dengan pernyataan [25] yang menjelaskan bahwa kenaikan temperatur mempercepat proses perengkahan termal sehingga menghasilkan fraksi hidrokarbon yang lebih terdekomposisi dengan baik dan memengaruhi karakteristik densitas minyak.

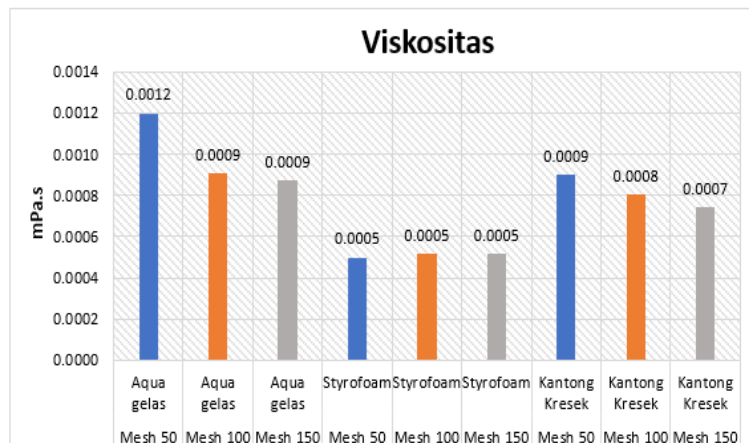
Berdasarkan pengujian massa jenis minyak pirolisis dengan menggunakan zeolit mesh 100, diperoleh nilai massa jenis yang sama pada ketiga jenis plastik, yaitu sebesar $0,748\text{ g/mL}$ untuk plastik Aqua Gelas (PP), styrofoam (PS), dan kantong kresek (LDPE). Nilai ini lebih rendah dibandingkan variasi mesh 50 dan 150, yang menunjukkan bahwa ukuran katalis mesh 100 menghasilkan fraksi hidrokarbon yang lebih ringan. Meskipun secara teoritis styrofoam (polistirena) cenderung menghasilkan fraksi aromatik yang memiliki densitas lebih tinggi [30], pada kondisi penelitian ini pengaruh ukuran mesh katalis lebih dominan dibandingkan jenis plastik. Plastik PP dan LDPE yang tersusun dari rantai alifatik sederhana menghasilkan fraksi olefin dan parafin yang berdensitas lebih rendah, sehingga secara keseluruhan massa jenis minyak pirolisis pada variasi mesh 100 berada di bawah kisaran standar bahan bakar solar.

Selanjutnya, berdasarkan pengujian massa jenis minyak hasil pirolisis dengan menggunakan zeolit mesh 150, diperoleh nilai massa jenis yang sama untuk ketiga jenis plastik, yaitu sebesar $0,813\text{ g/mL}$ pada plastik Aqua Gelas (PP), styrofoam (PS), dan kantong kresek (LDPE). Nilai ini lebih tinggi dibandingkan variasi mesh 50 dan 100, yang menunjukkan bahwa ukuran katalis mesh 150 memungkinkan terbentuknya fraksi hidrokarbon yang lebih berat dan stabil. Styrofoam (polistirena/PS) secara umum menghasilkan senyawa aromatik dengan densitas lebih tinggi, sedangkan PP dan LDPE menghasilkan fraksi alifatik yang lebih ringan [31]. Namun, kesamaan nilai massa jenis pada variasi ini menunjukkan bahwa proses kondensasi dan distribusi fraksi hidrokarbon berlangsung relatif seragam. Nilai densitas sebesar $0,813\text{ g/mL}$ ini mendekati kisaran densitas bahan bakar solar, sebagaimana tercantum dalam Standar dan Mutu Bahan Bakar Minyak Jenis Solar 48 Nomor 28.K/10/DJM.T/2016, yaitu $0,815\text{--}0,870\text{ g/mL}$ [29], sehingga minyak hasil pirolisis plastik dengan zeolit mesh 150 berpotensi dimanfaatkan sebagai bahan bakar alternatif. Nilai densitas yang diperoleh pada penelitian ini masih berada dalam rentang standar bahan bakar solar, yaitu antara $0,815\text{--}0,870\text{ g/mL}$ sebagaimana tercantum dalam Standar dan Mutu Bahan Bakar Minyak Jenis Solar 48 (Nomor 28.K/10/DJM.T/2016). Hal ini menunjukkan bahwa minyak hasil pirolisis plastik menggunakan zeolit mesh 150 memiliki karakteristik fisik yang mendekati bahan bakar konvensional dan berpotensi dimanfaatkan sebagai bahan bakar alternatif [31].

Pengaruh Variasi Mesh Terhadap Viskositas Pirolisis

Berdasarkan Grafik viskositas minyak hasil pirolisis dengan katalis zeolit mesh 50 menunjukkan bahwa plastik aqua gelas memiliki nilai viskositas tertinggi yaitu $0,0012\text{ mPa}\cdot\text{s}$. Nilai ini lebih besar dibandingkan dengan minyak hasil pirolisis plastik kantong kresek sebesar $0,0009\text{ mPa}\cdot\text{s}$, serta plastik styrofoam sebesar $0,0005\text{ mPa}\cdot\text{s}$. Perbedaan nilai tersebut mengindikasikan bahwa masing-masing jenis polimer menghasilkan tingkat kekentalan minyak yang berbeda setelah proses pirolisis. Temuan ini sejalan dengan hasil penelitian [32] yang menjelaskan bahwa minyak pirolisis dari plastik polypropylene (PP) umumnya memiliki viskositas lebih tinggi karena proses degradasinya menghasilkan fraksi hidrokarbon dengan rantai karbon yang lebih panjang dan berat molekul yang lebih besar. dibandingkan polystyrene (PS) maupun LDPE. Hal ini terjadi karena struktur rantai hidrokarbon polypropylene (PP) yang lebih panjang dan fleksibel menghasilkan fraksi minyak yang lebih berat dan kental. Selain itu, penelitian [33] juga menunjukkan bahwa minyak dari polimer berstruktur alifatik panjang biasanya memiliki kecenderungan viskositas lebih besar. Dengan demikian, tingginya viskositas pada sampel aqua gelas dapat dikaitkan dengan karakteristik molekul

polypropylene (PP) yang lebih kompleks dan rapat, sejalan dengan pendapat [34] bahwa viskositas suatu larutan sangat dipengaruhi oleh jenis bahan penyusun serta struktur molekul.

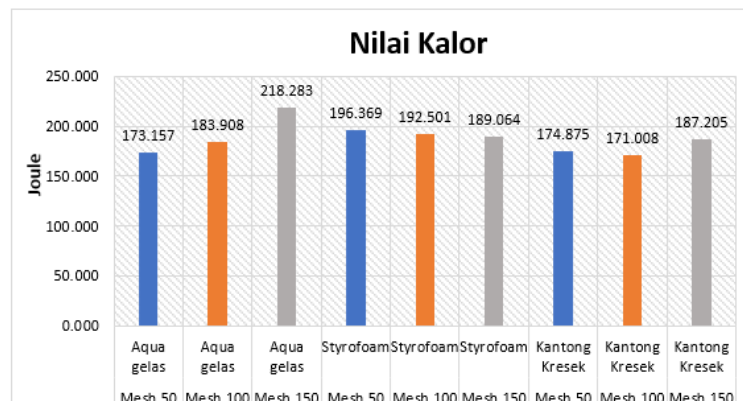


Gambar 4. Pengaruh Variasi Mesh Terhadap Viskositas Pirolisis

Dari grafik di atas, bahwa hasil pengujian viskositas minyak hasil pirolisis dengan katalis zeolit mesh 100 menunjukkan bahwa viskositas nilai paling tinggi pada aqua gelas yaitu 0,0009 mPa.s, diikuti oleh kantong kresek 0,0008 mPa.s, dan styrofoam 0,0005 mPa.s. Hasil ini sejalan dengan temuan [25] yang menjelaskan bahwa minyak pirolisis plastik LDPE cenderung memiliki viskositas yang relatif rendah karena rantai polimernya menghasilkan fraksi minyak yang lebih ringan dan mudah terurai pada proses pirolisis. Hal ini mendukung hasil pada grafik, di mana kantong kresek (LDPE) memiliki viskositas lebih rendah dibandingkan Aqua gelas (PP). Sementara itu, minyak pirolisis dari plastik PP memiliki kecenderungan menghasilkan fraksi minyak dengan komposisi hidrokarbon yang lebih panjang dibandingkan LDPE [35]. Karena itu, minyak dari sampel Aqua gelas (PP) menunjukkan viskositas tertinggi pada mesh 100, sesuai dengan hasil pengujian pada grafik. Selain itu, [36] menyatakan bahwa viskositas minyak pirolisis sangat dipengaruhi oleh distribusi komponen hidrokarbon di dalamnya, di mana fraksi yang lebih berat atau memiliki rantai karbon lebih panjang akan meningkatkan viskositas minyak. Temuan ini memperkuat alasan mengapa minyak styrofoam (PS), yang pada proses pirolisis cenderung menghasilkan fraksi aromatik yang lebih volatil, menunjukkan viskositas paling rendah pada pengujian ini.

Dari grafik di atas, bawah hasil pengujian viskositas minyak hasil pirolisis dengan katalis zeolit mesh 150, dapat dilihat bahwa nilai viskositas tertinggi terdapat pada sampel aqua gelas yaitu sebesar 0,0009 mPa.s, diikuti oleh kantong kresek sebesar 0,0007 mPa.s, sedangkan nilai viskositas terendah terdapat pada styrofoam dengan nilai 0,0005 mPa.s. Hal ini sejalan dengan temuan [37] yang melaporkan bahwa pirolisis PP dapat menghasilkan fraksi minyak yang lebih kental ketika ukuran partikel diperkecil karena peningkatan interaksi antarmolekul dan pembentukan senyawa hidrokarbon berat. Sedangkan pada sampel ini plastik styrofoam (PS) sama dengan sampel 100 menunjukkan nilai viskositas paling rendah. Hasil ini sejalan dengan penelitian [38] yang menemukan bahwa viskositas minyak cair hasil pirolisis PP meningkat pada variasi suhu reaktor, menunjukkan bahwa interaksi molekuler dan struktur fraksi sangat dipengaruhi oleh kondisi pirolisis. [39] juga mendukung pendapat ini: pirolisis PP dengan zeolit menghasilkan minyak dengan viskositas relatif besar, yang mengimplikasikan bahwa struktur polimer PP dan interaksi antarmolekulnya memang mendukung pembentukan fraksi fraksi yang lebih kental.

Pengaruh Variasi Mesh Terhadap Nilai Kalor Pirolisis



Gambar 5. Pengaruh Variasi Mesh Terhadap Nilai Kalor Pirolisis

Berdasarkan grafik pada terlihat bahwa nilai kalor pada ketiga jenis bahan menunjukkan perbedaan yang cukup jelas. Styrofoam memiliki nilai kalor tertinggi sebesar 196,369 joule, diikuti oleh Kantong Kresek sebesar 175,875 joule, dan Aqua Gelas sebesar 173,157 joule. Perbedaan ini menunjukkan bahwa jenis bahan berpengaruh terhadap jumlah energi panas yang dilepaskan selama pembakaran. Nilai kalor yang tinggi pada styrofoam mengindikasikan bahwa bahan tersebut memiliki struktur kimia yang kaya akan unsur karbon dan hidrogen, yang berperan penting dalam reaksi pembakaran. Hal ini sejalan dengan temuan [40] yang melaporkan bahwa polistirena memiliki heating value tinggi, yaitu sekitar 38,53 MJ/kg, sehingga tergolong sebagai bahan dengan potensi energi termal besar.

[41] juga menegaskan bahwa karakteristik pembakaran suatu polimer sangat ditentukan oleh komposisi kimia dan struktur molekulnya, sehingga bahan dengan rantai hidrokarbon lebih kompleks seperti polistirena cenderung memiliki nilai kalor lebih tinggi dibandingkan polimer lain.

Dari grafik diatas dapat diketahui bahwa nilai kalor yang dihasilkan dari ketiga jenis bahan mengalami variasi. Styrofoam masih menunjukkan nilai tertinggi yaitu 192,501 joule, diikuti oleh Aqua Gelas sebesar 183,908 joule, dan Kantong Kresek sebesar 171,008 joule. Perbedaan nilai ini menunjukkan bahwa ini menunjukkan bahwa struktur kimia dan karakteristik polimer masing-masing bahan sangat berpengaruh terhadap jumlah energi panas yang dilepaskan selama proses pembakaran. Nilai kalor yang tinggi pada styrofoam disebabkan oleh adanya ikatan karbon-hidrogen yang kuat dalam rantai polimernya, yang memerlukan energi besar untuk diuraikan selama proses pembakaran. [30] melaporkan bahwa limbah Styrofoam memiliki nilai kalor sebesar 9.503,8 kal/gram, menunjukkan bahwa PS termasuk bahan dengan kandungan energi tinggi. Dengan demikian, hasil ini menunjukkan bahwa styrofoam memiliki potensi energi panas tertinggi pada perlakuan mesh 100, sementara kantong kresek cenderung menghasilkan nilai kalor paling rendah akibat struktur molekulnya yang lebih sederhana dan ringan.

Dari grafik diatas, dapat dilihat bahwa nilai kalor dari ketiga jenis bahan menunjukkan perbedaan yang cukup signifikan. Aqua Gelas memiliki nilai kalor tertinggi yaitu sebesar 218,383 joule, diikuti oleh Styrofoam sebesar 189,064 joule, dan Kantong Kresek sebesar 187,205 joule. Nilai kalor yang lebih tinggi pada Aqua Gelas menunjukkan bahwa bahan ini memiliki kandungan energi kimia yang lebih besar, yang dilepaskan dalam bentuk panas saat mengalami proses pembakaran. Hal ini berkaitan dengan struktur molekul dan komposisi polimer pada Aqua Gelas yang mengandung ikatan karbon hidrogen lebih banyak dan lebih kuat, sehingga menghasilkan energi panas lebih tinggi saat terurai. Hasil ini sejalan dengan temuan [42] yang menunjukkan bahwa produk minyak hasil

pirolisis PP memiliki nilai kalor mencapai 45,56 MJ/kg. Sementara itu, Styrofoam dan Kantong Kresek menunjukkan nilai kalor yang lebih rendah. Hal ini dapat dikaitkan dengan struktur fisik dan kimia keduanya. Sementara itu, Styrofoam dan Kantong Kresek menunjukkan nilai kalor yang lebih rendah. Perbedaan ini berkaitan dengan struktur fisik dan kimia kedua bahan tersebut. Styrofoam yang berbahan dasar polystyrene (PS) memiliki struktur berpori dan densitas rendah akibat proses pembentukan foam, sehingga panas yang diterima tidak terdistribusi secara merata dan energi yang dilepaskan selama pembakaran menjadi kurang optimal. Hal ini sejalan dengan temuan [43] yang menjelaskan bahwa densitas material polimer sangat memengaruhi karakteristik termalnya di mana densitas yang lebih rendah cenderung menghasilkan efisiensi pelepasan energi panas yang lebih rendah. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa pada perlakuan mesh 150, bahan Aqua Gelas memiliki potensi energi panas tertinggi, menunjukkan efisiensi pembakaran yang lebih baik dibandingkan Styrofoam dan Kantong Kresek.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

4.1 Kesimpulan

Variasi ukuran mesh adsorben batu zeolit berpengaruh terhadap hasil minyak pirolisis dari plastik polypropylene (PP), polystyrene (PS), dan low-density polyethylene (LDPE). Semakin halus ukuran mesh zeolit, khususnya mesh 150, semakin besar luas permukaan adsorpsi yang tersedia sehingga proses penyaringan dan pemurnian uap pirolisis berlangsung lebih efektif. Hal ini ditunjukkan oleh nilai massa jenis, viskositas, dan nilai kalor minyak pirolisis yang cenderung lebih stabil dan optimal dibandingkan penggunaan mesh 50 dan mesh 100.

4.2 Saran

Untuk penelitian selanjutnya, disarankan menggunakan variasi mesh yang lebih halus dari 150 atau melakukan aktivasi zeolit terlebih dahulu, agar proses adsorpsi uap pirolisis dari plastik PP, PS, dan LDPE dapat berjalan lebih maksimal serta menghasilkan minyak dengan kualitas yang lebih tinggi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. D. Ardian and Z. Sartika, "Pemanfaatan Zeolit Alam Sebagai Adsorben Dalam Pemurnian Ethanol Dengan Metode Destilasi Adsorpsi Natural Zeolite as an Adsorbent in Ethanol Purification Using the Adsorption Distillation Method," vol. 3, no. 1, pp. 1–6, 2022.
- [2]. Susilawati, M. N. Nasruddin, Y. A. Sihombing, B. Ferdiansyah, and S. N. Y. Pakpahan, "Analysis of the Effect of Grain Size on the Characteristics of Zeolite as Adsorbents," no. June, pp. 308–313, 2022, doi: 10.5220/0010163300002775
- [3]. P. Zeolit et al., "The Development of Zeolite as Potential Natural Catalyst," Jurnal Jejaring Matematika dan Sains, vol. 3, no. 2, p. 28, 2021, doi: 10.36873/jjms.2021.v3.i2.604.
- [4]. F. Faiz and D. Hidayat, "Uji Karakteristik Minyak Pirolisis Berbahan Baku Limbah Plastik," Jurnal Teknik Mesin, vol. 10, no. 01, pp. 13–20, 2022.
- [5]. Sunyoto, "Pengaruh Temperatur Pada Proses Pirolisis Plastik Ldpe ," vol. 26, Jul. 2024.
- [6]. F. Faiz, D. Hidayat, and I. H. Siregar, "Uji Karakteristik Minyak Pirolisis Berbahan Baku Limbah Plastik Polypropylene."
- [7]. Y. Yuriandala, S. Syamsiah, and H. Saptoadi, "Pirolisis Campuran Sampah Plastik Polistirena Dengan Sampah Plastik Berlapisan Aluminium Foil (Multilayer)," Jurnal Sains & Teknologi Lingkungan, vol. 8, no. 1, pp. 10–20, 2016, doi: 10.20885/jstl.vol8.iss1.art2.
- [8]. Y. Yuriandala, S. Syamsiah, and H. Saptoadi, "Pirolisis Campuran Sampah Plastik Polistirena Dengan Sampah Plastik Berlapisan Aluminium Foil (Multilayer)," 2016.

- [9]. W. Wijayanti and M. N. Sasongko, "Machine Translated by Google Metode : Pengaruh Suhu terhadap Hasil Minyak Fisikokimia Properti," pp. 1–18, 2022.
- [10]. S. M. T. Mujiburohman, P. Pengukuhan, B. Kepakaran, and T. Separasi, "Teknologi Separasi Berbasis Membran, Potensi Dan Tantangannya," 2025.
- [11]. H. Susanto et al., "Fuel Characteristics of Pyrolysis Oil from Plastic Waste: A Case Study of Banjarnegara Waste Bank," *Evergreen*, vol. 11, no. 3, pp. 2404–2414, Sep. 2024, doi: 10.5109/7236883.
- [12]. Rahmadhani Banurea, Nelly L. Ompusunggu, Delima Lailan Sari Nasution, and Tua Raja Simbolon, "Viscosity Characteristics of Renewable Energy Fuels from PP and HDPE Plastic Waste Conversion," *Journal of Technomaterial Physics*, vol. 6, no. 2, pp. 099–104, Aug. 2024, doi: 10.32734/jotp.v6i2.14028.
- [13]. A. Pumpuang, N. Klinkaew, K. Wathakit, A. Sukhom, and E. Sukjit, "The influence of plastic pyrolysis oil on fuel lubricity and diesel engine performance," *RSC Adv.*, vol. 14, no. 14, pp. 10070–10087, 2024, doi: 10.1039/d3ra08150h.
- [14]. Rahmadhani Banurea, Nelly L. Ompusunggu, Delima Lailan Sari Nasution, and Tua Raja Simbolon, "Viscosity Characteristics of Renewable Energy Fuels from PP and HDPE Plastic Waste Conversion," *Journal of Technomaterial Physics*, vol. 6, no. 2, pp. 099–104, 2024, doi: 10.32734/jotp.v6i2.14028.
- [15]. M. Aufa, N. Suarnadwipa, D. I. Wayan, and B. Adnyana, "Pengaruh Temperatur Reaktor terhadap Viskositas Bahan Bakar Cair Hasil Proses Pirolisis Sampah Plastik Polypropylene," *Jurnal Ilmiah Teknik Desain Mekanika*, vol. 13, no. 3, pp. 1–4, 2024.
- [16]. E. Meilia Mayora, P. W. Nugraheni, and Arifin, "Pirolisis Limbah Plastik Jenis Low Density Polyethylene (LDPE) dan Polypropylene (PP) Menggunakan Katalis Zeolit Alam," *Jurnal Teknologi Lingkungan Lahan Basah*, vol. 11, no. 3, pp. 773–779, 2023.
- [17]. W. Zhang, J. Zhang, Y. Ding, Q. He, K. Lu, and H. Chen, "Pyrolysis kinetics and reaction mechanism of expandable polystyrene by multiple kinetics methods," 2021. doi: 10.1016/j.jclepro.2020.125042.
- [18]. D. Ouyang, H. Yan, J. Song, C. Yang, T. Jiang, and C. Liu, "Combustion characteristics and fire hazard of polystyrene exterior wall thermal insulation materials," *J. Appl. Polym. Sci.*, vol. 140, no. 8, pp. 1–10, 2023, doi: 10.1002/app.53503.
- [19]. E. Wahyudi, Z. Zultiniar, and E. Saputra, "Pengolahan Sampah Plastik Polypropylene (PP) Menjadi Bahan Bakar Minyak dengan Metode Perengkahan Katalitik Menggunakan Katalis Zeolit X," 2016. doi: 10.23955/rkl.v11i1.2958.
- [20]. Zaenal Abidin, Atmadja Tirta Sugeng, and Arijianto, "Pengujian Alat Pengolah Limbah Plastik Jenis Ps (Polystyrene) Menjadi Bahan Bakar ," *Jurnal Teknik Mesin*, vol. 5, 2017.