

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Masalah limbah plastik telah menjadi isu lingkungan yang mendesak secara global. Menurut (Jebe & Park, 2025), lebih dari 400 juta ton plastik diproduksi setiap tahun, dan sekitar 40% di antaranya digunakan untuk kemasan sekali pakai. Indonesia sendiri menempati peringkat ke-5 dunia sebagai penyumbang limbah plastik ke laut, dengan total sekitar 3,2 juta ton plastik yang tidak terkelola setiap tahun (Kehutanan, 2023). Salah satu jenis limbah plastik yang sulit didaur ulang adalah *bubble wrap*, bahan pelindung berbasis polietilena berdensitas rendah (LDPE). Struktur kimianya yang stabil membuat *bubble wrap* tahan terhadap degradasi alami, sehingga berkontribusi signifikan terhadap pencemaran jangka panjang.

Upaya mengatasi permasalahan limbah plastik kini beralih ke teknologi konversi termokimia, salah satunya pirolisis, yaitu proses penguraian senyawa organik menjadi fraksi minyak, gas, dan padatan melalui pemanasan tanpa oksigen. (Suryani et al., 2024) mencatat bahwa teknologi pirolisis mampu mengonversi hingga 70% massa plastik menjadi bahan bakar cair dengan nilai kalor sekitar 40 MJ/kg. Namun, efisiensi proses dan kualitas produk hasil pirolisis sangat bergantung pada kondisi operasi dan jenis katalis yang digunakan. Oleh karena itu, pemanfaatan katalis menjadi kunci utama untuk meningkatkan nilai guna dan efisiensi konversi limbah plastik menjadi energi alternatif.

Bubble wrap yang tersusun dari LDPE menghasilkan fraksi hidrokarbon berat ketika di pirolisis tanpa katalis, sehingga produk cair cenderung memiliki viskositas tinggi dan nilai oktan rendah. Untuk mengatasi hal ini, penggunaan katalis zeolit terbukti efektif dalam mempercepat pemutusan rantai karbon dan meningkatkan fraksi hidrokarbon ringan. Beberapa studi menunjukkan bahwa zeolit dapat menurunkan titik nyala dan viskositas minyak hasil pirolisis serta memperbaiki karakteristik fisik produknya.

Namun, penelitian yang secara spesifik mengkaji peran zeolit terhadap *bubble wrap* masih sangat terbatas, terutama dalam hal pengaruh terhadap sifat fisik hasil pirolisis seperti titik nyala, densitas, dan kekerasan *char*.

Permasalahan utama dalam penelitian pirolisis *bubble wrap* adalah bagaimana mengoptimalkan parameter reaksi seperti suhu, waktu tinggal, dan rasio katalis terhadap bahan baku agar dihasilkan produk dengan kualitas fisik terbaik. Selain itu, karakteristik zeolit — seperti ukuran pori, luas permukaan, dan keasaman — sangat memengaruhi efektivitasnya dalam memutus rantai karbon panjang. Di Indonesia, pengembangan katalis berbasis zeolit lokal juga berpotensi mendukung program *Waste to Energy (WtE)* untuk mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil dan mendukung ekonomi sirkular.

Beberapa penelitian terdahulu mendukung pentingnya katalis zeolit dalam proses pirolisis. (Sarker et al., 2022) melaporkan bahwa zeolit Y meningkatkan yield fraksi bensin hingga 45% pada pirolisis LDPE. (Li et al., 2024) menunjukkan bahwa penggunaan zeolit ZSM-5 menurunkan viskositas minyak pirolisis sebesar 30% dibandingkan tanpa katalis. (A. Rahman & Fathurrahman, 2022) menemukan bahwa zeolit sintetis berpori besar mempercepat pembentukan hidrokarbon rantai pendek. Sementara itu, (Anuar et al., 2021) membuktikan bahwa zeolit alam Indonesia memiliki potensi kompetitif setelah aktivasi asam.

Namun, mayoritas penelitian masih terfokus pada jenis plastik HDPE, PP, dan PS. Studi (Pratama et al., 2023) terhadap pirolisis *bubble wrap* tanpa katalis menunjukkan bahwa minyak pirolisis memiliki densitas tinggi (0,92 g/mL) dengan kandungan aromatik yang dominan, tetapi belum mengeksplorasi peran katalis terhadap perubahan sifat fisik produk secara mendalam. Oleh karena itu, masih terdapat kesenjangan penelitian (*research gap*) terkait analisis kuantitatif pengaruh zeolit terhadap *bubble wrap* dan korelasinya terhadap parameter fisik produk hasil pirolisis.

Kesenjangan penelitian ini menjadi dasar penting untuk dilakukannya penelitian lanjutan yang mengkaji hubungan antara rasio katalis dan perubahan sifat fisik seperti titik nyala, densitas, dan kekerasan *char*. Dengan pendekatan kuantitatif, hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan pemahaman lebih komprehensif mengenai efektivitas zeolit dalam proses pirolisis LDPE jenis *bubble wrap*.

Kontribusi utama penelitian ini adalah memberikan evaluasi ilmiah terhadap perubahan sifat fisik hasil pirolisis akibat penambahan katalis zeolit. Selain itu, hasilnya diharapkan dapat menjadi dasar bagi pengembangan teknologi pengolahan limbah plastik yang lebih efisien, ekonomis, dan ramah lingkungan di Indonesia.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh penambahan katalis zeolit terhadap titik nyala cairan hasil pirolisis *bubble wrap* ?
2. Bagaimana pengaruh penambahan katalis zeolit terhadap densitas cairan hasil pirolisis *bubble wrap* ?

1.3 Batasan masalah

Agar penelitian ini memiliki arah yang jelas dan hasil yang dapat dianalisis secara mendalam, maka ruang lingkup penelitian dibatasi pada beberapa aspek berikut:

1. Jenis bahan baku plastik yang digunakan dibatasi pada limbah *bubble wrap* yang berbahan dasar *Low-Density Polyethylene* (LDPE),
2. Jenis katalis yang digunakan dibatasi pada zeolit alam yang telah diaktivasi secara kimia
3. Variasi massa katalis dibatasi pada beberapa rasio tertentu terhadap massa bahan plastik (misalnya 0%, 5%, 10%, dan 15%)

4. Proses pirolisis dilakukan dengan sistem batch tertutup (non-oksidatif) pada rentang suhu 350–400°C
5. Analisis hasil pirolisis dibatasi hanya pada sifat fisik produk, yang meliputi:
 - Titik nyala (flash point) minyak hasil pirolisis,
 - Densitas (massa jenis) minyak hasil pirolisis,

Analisis kimia (seperti komposisi hidrokarbon, kandungan sulfur, atau GC-MS) tidak dilakukan karena penelitian ini berfokus pada evaluasi fisik hasil pirolisis sebagai indikator kualitas bahan bakar alternatif.

6. Lingkup lokasi penelitian dibatasi pada kegiatan laboratorium teknik mesin Universitas Muhammadiyah Jember dengan peralatan pirolisis berskala laboratorium. Kondisi eksternal seperti tekanan atmosfer dan kelembaban diabaikan karena diasumsikan relatif konstan selama proses percobaan.
7. Analisis data dilakukan secara kuantitatif menggunakan perbandingan nilai rata-rata dan analisis grafik terhadap pengaruh variasi katalis terhadap tiga parameter fisik yang diukur. Uji statistik inferensial seperti ANOVA atau regresi linear sederhana dapat digunakan untuk memastikan hubungan pengaruh antar variabel.
8. Tujuan penelitian tidak mencakup pengujian performa bahan bakar hasil pirolisis, terbatas pada karakterisasi fisik untuk melihat potensi awal penggunaan sebagai bahan bakar cair alternatif.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan utama penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh penambahan katalis zeolit terhadap perubahan sifat fisik produk hasil pirolisis *bubble wrap*. Secara khusus, penelitian ini bertujuan untuk:

1. Menentukan pengaruh variasi rasio katalis zeolit terhadap titik nyala cairan hasil pirolisis.
2. Menganalisis pengaruh katalis zeolit terhadap densitas cairan hasil pirolisis.

1.5 Manfaat Penelitian

1. Mendukung pengembangan teknologi pirolisis katalitik berbasis sumber daya lokal (zeolit alam Indonesia).
2. Menawarkan alternatif solusi pengelolaan limbah plastik jenis *bubble wrap* menjadi bahan bakar cair ramah lingkungan.

