

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Permasalahan sampah plastik, khususnya jenis *Low-Density Polyethylene* (LDPE), telah menjadi salah satu isu lingkungan global paling krusial di era modern ini. Sebagai polimer termoplastik dengan struktur molekul yang memiliki tingkat percabangan rantai tinggi, LDPE sangat populer dan banyak dimanfaatkan dalam industri manufaktur kemasan fleksibel, kantong belanja, wadah makanan, serta botol plastik sekali pakai karena sifatnya yang ringan, fleksibel, dan tahan air. Namun, karakteristik fisikokimia inilah yang justru membuat LDPE memiliki sifat sangat resisten terhadap degradasi biologis maupun kimiawi alami (*non-biodegradable*). Akibat stabilitas strukturalnya yang tinggi, material ini diperkirakan dapat bertahan di lingkungan tanpa terurai secara sempurna selama ratusan tahun, yang pada akhirnya memicu akumulasi sampah plastik yang masif dan persisten (Wahyu, Nurlina, and Irawan 2023). Peningkatan volume sampah LDPE yang tidak terkendali ini tidak hanya mengakibatkan pencemaran fisik pada ekosistem tanah dan perairan—seperti fragmentasi menjadi mikroplastik yang berpotensi mengontaminasi rantai makanan—tetapi juga menimbulkan beban operasional dan spasial yang sangat besar terhadap kapasitas Tempat Pembuangan Akhir (TPA) yang kian terbatas di berbagai wilayah urban. Dengan minimnya lahan baru untuk pembuangan dan lambatnya laju dekomposisi alami material polimer tersebut, metode penanganan konvensional seperti penimbunan (*landfilling*) tidak lagi memadai dan justru menyimpan bom waktu ekologis. Oleh karena itu, upaya sistematis untuk mengeksplorasi dan menerapkan metode pengelolaan serta konversi sampah plastik yang lebih efektif, ramah lingkungan, dan berkelanjutan kini telah menjadi suatu keharusan yang mendesak demi menjaga keseimbangan biosfer (Novarini, Darmuji, and Porawati 2018).

Akumulasi sampah plastik telah menjadi salah satu tantangan lingkungan global terbesar abad ini. Karakteristik plastik yang tahan lama dan sulit terurai

secara alami menuntut adanya solusi teknologi yang tidak hanya mampu mereduksi volume sampah secara signifikan, tetapi juga mampu mengintegrasikan kembali material tersebut ke dalam rantai ekonomi. Salah satu teknologi pengolahan termokimia yang sangat berpotensi untuk mengubah sampah plastik yang kurang bernilai menjadi produk baru dengan nilai guna serta nilai ekonomi tinggi adalah pirolisis. Secara definisinya, pirolisis merupakan proses degradasi termal bahan organik atau polimer yang berlangsung pada suhu tinggi—biasanya berkisar antara 300°C hingga 800°C—dalam kondisi tanpa kehadiran oksigen (*anoxic*) atau dengan jumlah oksigen yang sangat terbatas sehingga proses pembakaran tidak terjadi (Wijayanti, Ratnasari, and Hakim 2020). Absensi oksigen ini sangat krusial karena mencegah terjadinya oksidasi penuh, sehingga rantai polimer karbon yang panjang pada plastik tidak terbakar menjadi karbon dioksida (CO_2) dan air (H_2O), melainkan terpecah secara termal (*cracking*) menjadi senyawa-senyawa hidrokarbon dengan rantai yang lebih pendek. Keunggulan utama dari teknologi pirolisis ini terletak pada kemampuannya yang luar biasa dalam mengurangi volume sampah plastik secara drastis langsung dari hulu, sekaligus meminimalkan kebutuhan lahan untuk Tempat Pembuangan Akhir (TPA). Lebih dari sekadar metode pembuangan atau reduksi sampah konvensional, pirolisis bertindak sebagai jembatan teknologi yang mengubah limbah menjadi sumber daya baru (*waste-to-energy* dan *waste-to-chemicals*). Dengan menghasilkan minyak pirolisis berkualitas tinggi atau bahan baku kimia (*chemical feedstock*), teknologi ini menawarkan alternatif substitusi bahan bakar fosil yang kian menipis dan mengurangi ketergantungan industri pada ekstraksi minyak bumi mentah. Melalui konversi termal yang efisien ini, pirolisis mampu memulihkan nilai ekonomi dari material plastik bekas yang selama ini dianggap tidak bernilai, sehingga dapat mendukung secara penuh penerapan konsep ekonomi sirkular (*circular economy*) yang berkelanjutan dan mandiri energi (Megaprastio et al. 2023).

Meskipun proses pirolisis polimer plastik seperti *Low-Density Polyethylene* (LDPE) menawarkan potensi besar dalam konversi limbah menjadi bahan bakar alternatif, kualitas dan kuantitas produk cair hasil pirolisis LDPE secara

konvensional (termal) umumnya masih belum mencapai kondisi yang optimal untuk langsung diaplikasikan pada mesin kendaraan atau industri. Minyak pirolisis mentah yang dihasilkan melalui degradasi termal langsung tanpa modifikasi biasanya memiliki bilangan oktan yang rendah, viskositas yang relatif tinggi, serta didominasi oleh rantai hidrokarbon panjang (seperti fraksi lilin atau *wax*) dan berbagai senyawa tak jenuh yang tidak diinginkan (Endang et al. 2016). Keberadaan fraksi berat dan senyawa-senyawa pengotor ini tidak hanya menurunkan efisiensi pembakaran, tetapi juga dapat menyebabkan penyumbatan pada sistem injeksi bahan bakar akibat viskositasnya yang tinggi. Untuk mengatasi permasalahan kompleksitas rantai karbon tersebut, penggunaan katalis dalam proses pirolisis (pirolisis katalitik) menjadi faktor yang sangat krusial dan esensial. Kehadiran katalis dalam sistem reaksi berfungsi secara efektif untuk menurunkan energi aktivasi reaksi, memecah ikatan karbon-karbon pada rantai polimer panjang LDPE menjadi fraksi-fraksi hidrokarbon yang jauh lebih ringan dan bernilai tinggi (seperti fraksi bensin dan diesel), sekaligus secara signifikan meningkatkan persentase hasil (*yield*) produk cair serta memperbaiki karakteristik fisika-kimia minyak tersebut agar sesuai dengan standar bahan bakar komersial (Fitriyanti 2020). Melalui mekanisme perengkahan (*cracking*) yang terarah pada pori dan situs aktif katalis, reaksi pendukung seperti isomerisasi dan siklisasi dapat berlangsung lebih optimal, yang pada akhirnya berkontribusi langsung terhadap peningkatan angka oktan serta penurunan viskositas produk akhir secara drastis.

Menurut Berlian dkk. (2022) berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa beberapa parameter pengujian yang meliputi densitas, viskositas, dan titik nyala (mengacu pada standar ASTM D1298) menunjukkan bahwa temperatur berpengaruh signifikan terhadap produk yang dihasilkan. Semakin tinggi temperatur reaksi, semakin besar jumlah *yield* yang terbentuk, namun berbanding terbalik dengan nilai viskositas, densitas, dan titik nyala yang cenderung menurun. Hasil uji GC-MS menunjukkan bahwa produk pirolisis menghasilkan beberapa fraksi bahan bakar sebagai proses pembakaran kayu. Kondisi optimum diperoleh pada suhu 450°C untuk bahan plastik campuran

polypropylene dan polystyrene, dengan persentase yield sebesar 25,76%. Sementara itu, untuk plastik jenis polystyrene berbahan dasar basedstyrofoam, dihasilkan yield yang lebih rendah, yaitu 13,81% pada suhu 400°C.

Dalam lanskap teknologi pengelolaan limbah plastik yang berkelanjutan, zeolit alam muncul sebagai kandidat katalis yang sangat menjanjikan serta ekonomis untuk diterapkan dalam proses pirolisis *Low-Density Polyethylene* (LDPE) (Bani 2023). Keunggulan ekonomis ini menjadi faktor krusial karena melimpahnya ketersediaan zeolit alam di berbagai belahan dunia, yang secara signifikan dapat menekan biaya operasional jika dibandingkan dengan penggunaan katalis sintetis yang mahal. Secara struktural, material ini memiliki karakteristik yang sangat menguntungkan untuk reaksi perengkahan (*cracking*), yaitu memiliki struktur pori yang teratur, luas permukaan spesifik yang tinggi, serta situs asam aktif (baik situs asam *Brønsted* maupun *Lewis*) yang berperan penting dalam memfasilitasi pemecahan atau dekomposisi molekul polimer berukuran besar (makromolekul) seperti LDPE menjadi fraksi hidrokarbon yang lebih pendek (Mufidah and Takwanto 2023). Jenis dan jumlah zeolit alam yang digunakan dapat mempengaruhi aktivitas serta selektivitas katalitik selama proses pirolisis berlangsung. Perbedaan tersebut diperkirakan memberikan pengaruh signifikan terhadap kinerja proses, meliputi laju dekomposisi bahan yang dapat diamati melalui uji laju pembakaran, komposisi kimia produk cair, serta volume produk cair yang dihasilkan.

Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat menjadi acuan ilmiah dalam pengambilan keputusan untuk pengembangan pirolisis plastik LDPE berkelanjutan di Indonesia, mendorong pemanfaatan limbah dan sumber daya lokal yang lebih optimal, serta berkontribusi pada diversifikasi sumber energi terbarukan yang ramah lingkungan.

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana laju pembakaran hasil plastik LDPE dan zeolit alam dengan variasi konsentrasi 5%, 10%, dan 15% melalui proses pirolisis?

2. Bagaimana kandungan kimia (GC-MS) hasil plastik LDPE dan zeolit alam dengan variasi konsentrasi 5%, 10%, dan 15% melalui proses pirolisis?
3. Berapa volume cair hasil plastik LDPE dan zeolit alam dengan variasi konsentrasi 5%, 10%, dan 15% melalui proses pirolisis?

1.3 Batasan Masalah

1. Penelitian ini menggunakan limbah plastik *bubble wrap* transparan yang terbuat dari LDPE (*Low Density Polyethylene*).
2. Menggunakan variasi konsentrasi zeolit alam 5%, 10%, dan 15%
3. Minyak ini berfokus pada uji laju pembakaran, kandungan kimia (GC-MS) dan volume bahan cair

1.4 Tujuan Penelitian

1. Mengetahui laju pembakaran hasil plastik LDPE dan zeolit alam dengan variasi konsentrasi 5%, 10%, dan 15% melalui proses pirolisis?
2. Mengetahui kandungan kimia (GC-MS) hasil plastik LDPE dan zeolit alam dengan variasi konsentrasi 5%, 10%, dan 15% melalui proses pirolisis?
3. Mengetahui berapa volume cair hasil plastik LDPE dan zeolit alam dengan variasi konsentrasi 5%, 10%, dan 15% melalui proses pirolisis?

1.5 Manfaat Penelitian

1. Mengembangkan teknologi pengolahan limbah plastik LDPE menjadi energi terbarukan.
2. Memberikan alternatif solusi pengelolaan sampah plastik yang ramah lingkungan.
3. Menambah khazanah ilmu pengetahuan mengenai pemanfaatan katalis zeolit alam dalam proses pirolisis.