

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **I.1 Latar Belakang**

ZSM-5 merupakan salah satu material yang banyak digunakan dalam berbagai proses konversi hidrokarbon karena memiliki struktur pori yang teratur, luas permukaan yang tinggi, stabilitas termal yang baik, dan sifat keasaman yang mendukung terjadinya reaksi katalitik (Bai et al., 2021). Selain karakteristik struktur porinya, salah satu faktor yang menentukan aktivitas katalitik zeolit adalah sifat keasamannya. Keasaman zeolit berperan penting dalam berbagai reaksi konversi hidrokarbon, seperti perengkahan (*cracking*), isomerisasi, dan aromatisasi. Sifat keasaman tersebut umumnya berasal dari keberadaan situs asam Bronsted dan situs asam Lewis yang terdapat pada struktur zeolit. Keberadaan situs asam Bronsted pada ZSM-5 berperan penting dalam pembentukan ion karbonium yang mempercepat pemutusan ikatan karbon-karbon (C–C), sehingga material ini banyak dimanfaatkan dalam industri petrokimia maupun proses konversi limbah menjadi bahan bakar (Bai et al., 2021). Dibandingkan beberapa jenis zeolit lainnya, ZSM-5 memiliki stabilitas termal yang tinggi dan efektif dalam menghasilkan hidrokarbon rantai pendek serta senyawa aromatik melalui reaksi perengkahan katalitik. Oleh karena itu, ZSM-5 banyak digunakan pada proses konversi limbah plastik melalui pirolisis katalitik untuk meningkatkan kualitas dan selektivitas produk bahan bakar cair yang dihasilkan (Bai et al., 2021).

Meskipun memiliki aktivitas katalitik yang baik, penggunaan ZSM-5 secara langsung masih memiliki beberapa keterbatasan, seperti jumlah dan distribusi situs aktif yang terbatas, serta kecenderungan terbentuknya kokas (*coke*) yang dapat menyebabkan deaktivasi katalis. Oleh karena itu, modifikasi menggunakan logam yang sering digunakan adalah tembaga (Cu) karena kehadiran Cu dapat menciptakan sinergi antara situs asam milik ZSM-5 dan situs logam aktif sehingga reaksi konversi hidrokarbon berlangsung lebih efektif (Palc et al., 2023). Selain itu, logam Cu diketahui dapat meningkatkan stabilitas katalis, mengurangi pembentukan kokas (*coke*), serta meningkatkan selektivitas terhadap hidrokarbon ringan dan senyawa aromatik yang bernilai tinggi. Modifikasi Cu pada ZSM-5

dapat dilakukan melalui metode pertukaran ion (*ion exchange*), yaitu dengan menggantikan kation penyeimbang dalam struktur zeolit menggunakan ion  $\text{Cu}^{2+}$  yang berasal dari larutan prekursor  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  (Cruz-Navarro et al., 2022). Selama proses kalsinasi yang dilakukan dalam atmosfer udara atau lingkungan kaya oksigen, sebagian besar ion  $\text{Cu}^{2+}$  akan mengalami transformasi menjadi spesies oksida tembaga ( $\text{CuO}$ ) yang terdispersi pada permukaan maupun di dalam pori zeolit (Dyer et al., 2022).

Di sisi lain, peningkatan penggunaan plastik dalam berbagai sektor kehidupan telah menyebabkan jumlah limbah plastik yang dihasilkan terus meningkat dari tahun ke tahun. Menurut laporan Global Plastics Outlook dari OECD menunjukkan bahwa limbah plastik global meningkat dari 156 juta ton pada tahun 2000 menjadi 353 juta ton pada tahun 2019, dan diproyeksikan mencapai 1,014 miliar ton pada tahun 2060 apabila tidak dilakukan intervensi yang signifikan dalam pengelolaannya (OECD, 2022). Plastik memiliki sifat ringan, kuat, fleksibel, dan ekonomis sehingga penggunaannya sangat luas, namun material ini sulit terdegradasi secara alami dan dapat bertahan di lingkungan dalam waktu yang sangat lama (Miandad et al., 2019). Berbagai metode pengelolaan limbah plastik telah diterapkan, antara lain penimbunan di TPA, daur ulang mekanik, insinerasi, dan daur ulang kimia. Namun, metode ini semua berpotensi menimbulkan pencemaran lingkungan akibat sifat plastik yang sulit terdegradasi. Oleh karena itu, daur ulang kimia melalui proses pirolisis menjadi salah satu alternatif yang menjanjikan karena mampu mengonversi limbah plastik menjadi produk hidrokarbon bernilai tambah seperti bahan bakar cair, gas, dan char (Peng et al., 2022).

Salah satu jenis plastik yang paling banyak digunakan dan menjadi penyumbang utama limbah plastik adalah polipropilena (PP). Plastik PP memiliki kandungan hidrokarbon yang tinggi karena tersusun atas rantai polimer yang berasal dari fraksi minyak bumi. Karakteristik tersebut menjadikan limbah PP berpotensi untuk dikonversi menjadi produk hidrokarbon yang bernilai ekonomi. Salah satu teknologi untuk mengonversi limbah plastik PP menjadi bahan bakar adalah pirolisis. Pirolisis merupakan proses dekomposisi termal material organik

pada suhu tinggi tanpa kehadiran oksigen yang menghasilkan produk berupa minyak cair, gas, dan residu padat (*char*). Dibandingkan pirolisis termal, penggunaan katalis dalam proses pirolisis mampu menurunkan energi aktivasi reaksi, meningkatkan konversi plastik, serta mengarahkan pembentukan hidrokarbon yang lebih ringan dan bernilai tinggi (Selpiana et al., 2021). Kombinasi sifat asam dan struktur mikropori ZSM-5 dengan keberadaan logam Cu diharapkan dapat meningkatkan aktivitas perengkahan rantai polimer PP dan menghasilkan distribusi produk yang lebih selektif terhadap fraksi hidrokarbon yang berpotensi dimanfaatkan sebagai bahan bakar alternatif. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk mensintesis katalis CuO/ZSM-5 melalui metode pertukaran ion serta mengkaji kinerjanya dalam proses pirolisis limbah plastik PP menjadi produk bahan bakar yang lebih bernilai guna (Renilaili, 2019).

## **I.2 Tujuan Penelitian**

Sebagai bagian dari fokus penelitian ini, tujuan yang ingin dicapai adalah sebagai berikut:

1. Mendapatkan katalis CuO/ZSM-5 3 wt%, 6 wt% dan 9 wt% serta menentukan karakternya.
2. Menentukan kinerja katalis CuO/ZSM-5 pada pirolisis limbah plastik dengan suhu 400°C, 450°C serta 500°C.