



BAB I

PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang

Krisis energi global dan degradasi lingkungan akibat emisi gas rumah kaca dari bahan bakar fosil mendorong percepatan transisi menuju energi terbarukan yang berkelanjutan. Biodiesel menunjukkan pertumbuhan pasar yang signifikan dengan nilai global mencapai USD 42,43 miliar pada 2024 dan diproyeksikan meningkat menjadi USD 92,45 miliar pada 2034 dengan laju pertumbuhan tahunan 8,10% (Research, 2024), sementara konsumsi global mencapai 65,86 juta metrik ton pada 2023 dan produksi diperkirakan menembus 200 miliar liter per tahun dalam dekade ini (Statista, 2024). Sejalan dengan dinamika global tersebut, Pemerintah Indonesia memperkuat adopsi biodiesel melalui kebijakan mandatori yang diatur dalam Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) Nomor 12 Tahun 2015 tentang Penyediaan, Pemanfaatan, dan Tata Niaga Bahan Bakar Nabati (Biofuel), yang mewajibkan pencampuran biodiesel ke dalam BBM solar dan telah diimplementasikan hingga B30 sejak 2020, B35 sejak 2023, serta diarahkan menuju B40 mulai 2025. Kebijakan ini memberikan kepastian pasar biodiesel nasional sekaligus menuntut peningkatan efisiensi, keberlanjutan, dan daya saing teknologi produksinya. Produksi biodiesel secara dominan dilakukan melalui reaksi transesterifikasi yang mengonversi trigliserida dari Minyak goreng nabati atau lemak hewani menjadi fatty acid methyl esters (FAME) dengan efisiensi tinggi (Mandari and Devarai, 2022), namun penggunaan katalis homogen seperti NaOH dan KOH masih menghadapi kendala serius dalam aspek pemisahan produk, konsumsi air tinggi, dan dampak lingkungan, sehingga mendorong pengembangan katalis alternatif yang lebih berkelanjutan.

Permasalahan utama katalis homogen meliputi kesulitan pemisahan dari produk, pembentukan sabun yang menurunkan yield biodiesel, konsumsi air yang tinggi pada tahap pencucian, serta ketidakmampuan untuk digunakan kembali yang meningkatkan biaya produksi dan limbah kimia (Mandari and Devarai, 2022; Kibar *et al.*, 2023). Katalis heterogen menawarkan keunggulan berupa kemudahan



LAPORAN HASIL PENELITIAN

“Sintesis dan Karakterisasi Katalis Zeolit Basa Menggunakan Metode Hidrotermal untuk Transesterifikasi Biodiesel”

pemisahan, reusabilitas tinggi, toleransi terhadap kandungan free fatty acid (FFA) dan air dalam feedstock, serta pengurangan signifikan tahap pencucian (Maroa and Inambao, 2021). Zeolit sebagai material aluminosilikat berpori dengan struktur kristal tiga dimensi memiliki potensi besar sebagai support katalis heterogen karena luas permukaan spesifik yang tinggi, stabilitas termal sangat baik, struktur pori seragam, dan keberadaan situs aktif yang kuat (Seejandee *et al.*, 2024). Modifikasi zeolit dengan oksida logam alkali atau *alkaline earth metal oxide* dapat meningkatkan jumlah dan kekuatan situs basa yang diperlukan dalam reaksi transesterifikasi, namun pengembangan katalis zeolit basa masih menghadapi tantangan berupa aktivitas katalitik yang terbatas, stabilitas jangka panjang yang belum optimal, serta sensitivitas terhadap CO₂ dan H₂O yang dapat meracuni situs aktif katalis (Rizwanul Fattah *et al.*, 2020). Oleh karena itu, optimasi parameter sintesis zeolit menjadi krusial untuk menghasilkan katalis dengan performa yang konsisten dan layak diaplikasikan secara industri.

Penelitian terdahulu telah mengeksplorasi berbagai sistem katalis zeolit dengan hasil yang bervariasi. (Szkudlarek, 2021) melaporkan bahwa katalis 10% MgO/ZSM-5 dengan rasio Si/Al 280 menghasilkan konversi trigliserida 92,9% dan yield FAME 94,6%, menunjukkan peran penting rasio Si/Al dalam mengatur sifat keasaman dan kebasaan permukaan. Penelitian oleh (Szkudlarek, 2024b) pada CaO/ZSM-5 dengan rasio Si/Al 50 mencapai konversi hingga 95,2% pada suhu 220°C, sedangkan sistem CaO/BEA dengan rasio Si/Al 300 menghasilkan yield FAME 94,6%, (Szkudlarek, *et al.*, 2024) menegaskan pentingnya optimasi struktur dan komposisi zeolit. (Buchori *et al.*, 2020) melaporkan yield biodiesel sangat tinggi sebesar 98,299% menggunakan zeolit analcime berbasis limbah geothermal, namun memerlukan suhu reaksi ekstrem hingga 300°C yang kurang ekonomis. Meskipun hasil-hasil tersebut menunjukkan potensi besar zeolit sebagai katalis transesterifikasi, masih terdapat kesenjangan penelitian terkait pemahaman sistematis pengaruh parameter sintesis hidrotermal, khususnya pH dan rasio Si/Al, terhadap karakteristik fisikokimia dan performa katalitik. Penelitian ini bertujuan mensintesis dan mengkarakterisasi katalis zeolit basa melalui optimasi parameter pH dan rasio Si/Al menggunakan *Response Surface Methodology* (RSM) dengan



LAPORAN HASIL PENELITIAN

“Sintesis dan Karakterisasi Katalis Zeolit Basa Menggunakan Metode Hidrotermal untuk Transesterifikasi Biodiesel”

Design Expert, serta mengevaluasi performa katalitiknya dalam reaksi transesterifikasi biodiesel. Karakterisasi dilakukan menggunakan *Scanning Electron Microscopy* (SEM) dan *X-Ray Fluorescence* (XRF), sementara kualitas biodiesel dievaluasi melalui pengukuran densitas dan viskositas sesuai standar mutu, sehingga diharapkan menghasilkan katalis zeolit basa yang aktif, stabil, reusable, dan relevan untuk mendukung implementasi kebijakan mandatori biodiesel nasional secara berkelanjutan.

I.2 Tujuan

1. Mengoptimalkan kondisi sintesis katalis zeolit basa melalui variasi rasio Si/Al dan pH pencucian katalis untuk memperoleh yield biodiesel maksimum dalam reaksi transesterifikasi, serta memvalidasi hasil optimasi menggunakan *Response Surface Methodology* (RSM).
2. Mengkarakterisasi struktur morfologi dan komposisi kimia katalis zeolit basa hasil sintesis menggunakan *Scanning Electron Microscopy* (SEM) dan *X-Ray Fluorescence* (XRF).

I.3 Manfaat

1. Memberikan dasar ilmiah mengenai pengaruh parameter sintesis terhadap performa katalis zeolit basa dalam meningkatkan efisiensi reaksi transesterifikasi biodiesel.
2. Menghasilkan katalis heterogen yang efisien, ramah lingkungan, dan ekonomis sebagai alternatif berkelanjutan pengganti katalis homogen dalam industri biodiesel.