

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kebutuhan energi global terus mengalami peningkatan seiring dengan pertumbuhan populasi, industrialisasi, serta mobilitas transportasi yang semakin tinggi. Hingga saat ini, pemenuhan kebutuhan energi di dunia masih sangat bergantung pada sumber bahan bakar fosil seperti minyak bumi, gas alam, dan batu bara. Ketergantungan tersebut tidak hanya menimbulkan permasalahan terkait keterbatasan cadangan energi, tetapi juga memberikan dampak negatif terhadap lingkungan karena menjadi penyumbang utama emisi gas rumah kaca yang memicu terjadinya pemanasan global (Kabeyi & Olanrewaju, 2022; Pikula et al., 2020). Oleh karena itu, pengembangan sumber energi terbarukan yang ramah lingkungan, efisien secara ekonomi, serta dapat diterapkan pada skala industri menjadi kebutuhan yang sangat penting.

Salah satu energi alternatif terbarukan yang banyak dikembangkan yaitu biodiesel. Biodiesel merupakan bahan bakar alternatif yang bersifat *biodegradable*, tidak beracun dan mampu menekan emisi gas rumah kaca lebih efektif dibandingkan diesel konvensional (Chua et al., 2020; Lopresto, 2025). Selain itu, biodiesel memiliki nilai angka setana yang tinggi, titik nyala yang lebih aman, kandungan sulfur rendah, serta kompatibilitas yang baik dengan mesin diesel tanpa memerlukan modifikasi signifikan (Pikula et al., 2020). Kombinasi keunggulan tersebut menjadikan biodiesel sebagai pilihan alternatif yang berpotensi mendukung transisi energi yang berkelanjutan dan ramah lingkungan.

Biodiesel memberikan manfaat lingkungan yang signifikan, akan tetapi biaya produksinya masih menjadi kendala utama karena sekitar 70–95% dari total biaya dipengaruhi oleh bahan baku yang umumnya berasal dari minyak nabati murni (Ahmad et al., 2023). Kondisi ini menimbulkan persaingan antara sektor energi dan pangan dalam pemanfaatan sumber minyak. Sebagai solusi alternatif, pemanfaatan minyak jelantah (*waste cooking oil*) dinilai sebagai bahan baku yang lebih potensial karena ketersediaannya melimpah, biaya relatif rendah, ramah lingkungan, dan mampu mengurangi pencemaran lingkungan yang ditimbulkan oleh limbahnya (Pugazhendhi et al., 2020; B. Wang et al., 2023).

Proses utama produksi biodiesel adalah reaksi transesterifikasi, yaitu reaksi trigliserida dalam minyak atau lemak dengan alkohol rantai pendek seperti metanol menghasilkan *fatty acid methyl ester* (FAME) sebagai produk utama dan gliserol sebagai produk samping (Otieno et al., 2021). Reaksi ini memerlukan katalis yang efisien, stabil dan ekonomis. Katalis homogen seperti NaOH atau H₂SO₄ memang efektif mempercepat reaksi, namun memiliki keterbatasan seperti sulit dalam pemisahannya, tidak dapat digunakan kembali, serta menghasilkan limbah cair yang berpotensi mencemari lingkungan (Abukhadra et al., 2020). Oleh karena itu, penggunaan katalis heterogen menjadi alternatif yang lebih ramah lingkungan karena mudah dalam pemisahannya, stabil secara termal, dan dapat digunakan berulang kali (Rahayu et al., 2024).

Salah satu material yang menjanjikan sebagai katalis heterogen adalah kaolinit, mineral lempung yang melimpah di Indonesia. Kaolinit memiliki ketersediaan yang melimpah, harga relatif murah, struktur berlapis, luas permukaan yang cukup besar, dan sifat kimia yang dapat dimodifikasi. Berbagai upaya pemurnian dan modifikasi telah dilakukan untuk meningkatkan aktivitas katalitik kaolinit. Salah satu strategi yang efektif adalah interkalasi, yaitu penyisipan molekul tertentu ke dalam ruang antar lapisan kaolinit tanpa mengubah struktur berlapisnya. Molekul interkalasi yang umumnya digunakan antara lain dimetil sulfoksida (DMSO), urea, dan formamida yang mampu membentuk ikatan hidrogen dengan lapisan kaolinit sehingga dapat meningkatkan jarak antar lapisannya, luas permukaan spesifik, dan distribusi situs aktif (Tatang et al., 2024; J. Wang et al., 2021).

Penelitian sebelumnya oleh Rizki et al. (2024) dan Fitri et. al (2025) menunjukkan bahwa kaolinit yang dimodifikasi melalui interkalasi DMSO mampu meningkatkan kinerja katalitik dalam reaksi transesterifikasi. Proses interkalasi ditandai dengan perubahan struktur antarlapisan kaolinit, khususnya pergeseran *basal spacing*, yang meningkatkan aksesibilitas molekul reaktan terhadap situs aktif katalis. Hasil penelitian ini menegaskan bahwa interkalasi merupakan tahapan penting dalam pengembangan katalis heterogen berbasis kaolinit untuk aplikasi produksi biodiesel (Rizki et al., 2024; Fitri et al., 2025).

Pemanfaatan lempung lokal di Indonesia sebagai katalis heterogen dalam produksi biodiesel menunjukkan hasil yang menjanjikan, terutama setelah dilakukan berbagai modifikasi untuk meningkatkan aktivitas katalitiknya. Modifikasi lempung Pasaman dengan penambahan CaO dari cangkang telur terbukti meningkatkan rendemen biodiesel hingga sekitar 73% (Septioga et al., 2020). Lempung dari Lubuk Minturun yang diimpregnasi dengan oksida grafit menghasilkan yield 58%, dibandingkan dengan lempung tanpa modifikasi yang hampir tidak aktif (<1%) (Syukri et al., 2021). Lempung Indarung dan Sawahlunto yang dimodifikasi dengan Ca^{2+} dan Cu^{2+} juga menunjukkan peningkatan aktivitas katalitik yang signifikan, meskipun pengaruh Cu^{2+} relatif rendah (Deska et al., 2022; Ningsih et al., 2020). Analisis X-Ray Diffraction (XRD) menunjukkan bahwa kaolinit merupakan mineral dominan dari berbagai jenis lempung tersebut, yang berperan penting dalam peningkatan aktivitas katalitik.

Selain itu, upaya pemisahan fraksi kaolinit dan montmorillonit dari lempung telah dilakukan oleh Rahayu et al. (2024), menggunakan NH_4Cl sebagai agen pendispersi untuk memperoleh kaolinit terpisah (K-clay) dan kaolinit terkalsinasi (c-K-clay). Hasil penelitian menunjukkan bahwa K-clay mampu menghasilkan konversi asam palmitat hingga 42%, sedangkan c-K-clay memberikan konversi tertinggi terhadap asam oleat dan stearat sebesar 30%, dengan sifat fisik biodiesel yang memenuhi standar SNI (Rahayu et al., 2024). Meskipun pemisahan mineral dan perlakuan termal ini meningkatkan aktivitas katalitik dibandingkan dengan lempung awal, efektivitas katalis yang diperoleh masih terbatas, sehingga diperlukan strategi modifikasi lanjutan (Nengsih et al., 2025).

Untuk meningkatkan kinerja katalitik kaolinit lebih lanjut, interkalasi menjadi strategi yang efektif. Interkalasi melibatkan penyisipan molekul tertentu, seperti dimetil sulfoksida (DMSO), ke dalam ruang antar lapisan kaolinit tanpa merusak struktur berlapisnya. Proses ini dapat meningkatkan jarak antar lapisan, luas permukaan spesifik, serta distribusi situs aktif katalis, sehingga memperbaiki aksesibilitas molekul reaktan dalam reaksi transesterifikasi. Penelitian ini difokuskan pada evaluasi kaolinit dari lempung Bukit Ace, Padang, yang dimodifikasi melalui interkalasi DMSO dengan tujuan mengembangkan katalis heterogen yang efisien, ekonomis, dan ramah lingkungan. Penelitian ini diharapkan

dapat memberikan kontribusi baru bagi pengembangan katalis berbasis sumber daya mineral lokal untuk produksi biodiesel berbasis minyak jelantah.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana karakteristik mineral dan sifat awal kaolinit yang berasal dari lempung Bukit Ace, Padang sebagai katalis?
2. Bagaimana pengaruh interkalasi dimetil sulfoksida (DMSO) terhadap struktur dan sifat fisik-kimia kaolinit?
3. Seberapa efektif kaolinit terinterkalasi DMSO sebagai katalis heterogen dalam reaksi transesterifikasi minyak jelantah menjadi biodiesel?
4. Bagaimana kinerja dan stabilitas katalis kaolinit terinterkalasi DMSO pada hasil biodiesel dan kemampuan penggunaan katalis?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Mengidentifikasi karakterisasi mineral dan sifat awal kaolinit dari lempung Bukit Ace, Padang sebagai katalis.
2. Menganalisis pengaruh proses interkalasi DMSO terhadap struktur dan sifat fisik-kimia kaolinit yang dihasilkan.
3. Mengevaluasi efektivitas kaolinit terinterkalasi DMSO sebagai katalis heterogen dalam reaksi transesterifikasi minyak jelantah untuk produksi biodiesel.
4. Menilai kinerja dan stabilitas katalis kaolinit terinterkalasi DMSO pada hasil biodiesel dan kemampuan penggunaan katalis.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini diharapkan memberikan kontribusi pada pengembangan katalis heterogen berbasis kaolinit dari sumber daya lokal melalui modifikasi struktur kaolinit dari lempung Bukit Ace, Padang, dengan metode interkalasi dimetil sulfoksida (DMSO). Hasil penelitian ini diharapkan dapat meningkatkan pemahaman mengenai pengaruh perubahan struktur antarlapisan kaolinit terhadap aktivitas katalitiknya dalam reaksi transesterifikasi. Selain itu, penelitian ini diharapkan dapat mendukung pengembangan energi terbarukan

melalui pemanfaatan katalis yang efisien, ekonomis dan dapat digunakan kembali. Secara keseluruhan, hasil penelitian diharapkan memberikan kontribusi terhadap pengembangan ilmu pengetahuan di bidang material, energi, dan katalisis, serta menjadi acuan bagi penelitian lanjutan maupun penerapan industri dalam mewujudkan proses produksi metil ester yang lebih berkelanjutan dan ramah lingkungan.

