

BAB I

PENDAHULUAN

I.1. Latar Belakang

Peningkatan kesadaran mengenai dampak negatif bahan bakar fosil terhadap lingkungan dan krisis energi global telah mempercepat pencarian sumber energi alternatif yang berkelanjutan. Saat ini, telah diusulkan biodiesel energi terbarukan sebagai pengganti yang ideal bagi bahan bakar fosil untuk mengurangi emisi karbon dan memenuhi permintaan energi global (Ferrusca dkk., 2023). Salah satu bahan baku yang dinilai prospektif untuk produksi biodiesel ialah minyak jelantah. Minyak nabati segar mengandung trigliserida utuh dan komponen minor seperti fosfolipid, vitamin E, dan pigmen (Kumar dkk., 2025). Sementara minyak jelantah mengandung trigliserida yang sebagian terdegradasi menjadi asam lemak bebas, digliserida, monogliserida, dan senyawa polimerisasi/oksidasi. Minyak jelantah memiliki komposisi dasar yang mirip dengan minyak nabati segar karena didominasi oleh trigliserida dan asam lemak. Perbedaannya terdapat pada hasil degradasi dan kontaminasi yang timbul selama proses penggorengan. Selama penggorengan berulang, trigliserida minyak mengalami hidrolisis sebagian, yang menghasilkan lebih banyak monogliserida, digliserida, serta asam lemak bebas. Kandungan asam lemak bebas yang lebih besar ini membuat minyak jelantah lebih sesuai untuk diproses menggunakan katalis asam atau metode dua tahap (esterifikasi asam diikuti transesterifikasi basa) (Kumar dkk., 2025). Keberadaan molekul polar dan senyawa hasil degradasi dalam jumlah moderat dapat meningkatkan kelarutan dan kontak fase selama reaksi. Hal ini dapat memperbaiki laju reaksi dan konversi biodiesel pada kondisi tertentu dibandingkan minyak segar yang komposisinya homogen (Kumar dkk., 2025).

Berbeda dengan minyak nabati murni yang harganya relatif mahal dan memiliki nilai pangan tinggi, minyak jelantah berasal dari limbah rumah tangga ataupun industri makanan sehingga tidak bersaing dengan kebutuhan pangan dan tidak menimbulkan masalah terkait krisis ketahanan pangan (Ferrusca dkk., 2023). Secara ekonomi, telah terbukti bahwa minyak jelantah dapat menurunkan biaya

produksi biodiesel hingga lebih dari 70% (Yusuff dkk., 2023). Pemanfaatan minyak jelantah menguntungkan lingkungan karena mengubah limbah menjadi energi terbarukan dan mengurangi pencemaran air dan tanah yang disebabkan oleh pembuangan minyak jelantah secara tidak teratur. Biodiesel dihasilkan melalui proses transesterifikasi trigliserida dan monoalkohol dengan bantuan katalis (Lawan dkk., 2020).

Produksi biodiesel umumnya menggunakan reaksi transesterifikasi yang merupakan reaksi yang mengkonversi trigliserida dan alkohol (etanol atau metanol) menjadi metil ester asam lemak dan gliserol menggunakan bantuan katalis (Angelia dkk., 2022). Satu mol trigliserida direaksikan dengan tiga mol alkohol, menghasilkan satu mol gliserol dan tiga mol metil ester asam lemak. Kadar asam lemak bebas atau *Free Fatty Acid* (FFA) dan kandungan air yang tinggi dalam minyak jelantah dapat menghambat proses transesterifikasi, dikarenakan dapat menyebabkan reaksi saponifikasi yang mengurangi produksi yield biodiesel dan mempersulit pemisahan produk. Maka dari itu, untuk meningkatkan efisiensi konversi minyak jelantah menjadi biodiesel diperlukan katalis yang toleran terhadap FFA dan kadar air (Tan dkk., 2019).

Manfaat utama katalis padat meliputi kemudahan saat pemisahan, dapat digunakan kembali, dan produksi limbah cair yang rendah. Katalis CaO menyediakan situs basa padat berupa ion oksida pada permukaannya yang mampu mendeprotonasi metanol membentuk metoksida sebagai nukleofil kuat. Nukleofil ini yang kemudian menyerang gugus karbonil trigliserida untuk membentuk metil ester (Marwaha dkk., 2018). Kalsium oksida (CaO) ialah oksida logam alkali tanah dengan kebasaan tinggi yang sering digunakan sebagai katalis dalam proses transesterifikasi. Kalsium oksida juga tidak larut dalam metanol sehingga tidak dapat berinteraksi langsung dengan FFA dalam fase cair, akibatnya pembentukan sabun berkurang dan selektivitas CaO terhadap biodiesel meningkat. Kalsium oksida sebagai komponen aktif katalis, telah terbukti sangat efektif dalam reaksi transesterifikasi, karena kekuatan basanya yang tinggi, kelarutan rendah dalam metanol, dan kemampuannya untuk mengkatalisis reaksi pada kondisi yang relatif ringan (Marwaha dkk., 2018).

Kalsium oksida perlu didukung pada material berpori seperti zeolit alam agar tersebar terdispersi merata dan tidak mudah menggumpal untuk meningkatkan efektivitas katalis (Wang dkk., 2023). Indonesia mempunyai cadangan zeolit alam yang berlimpah dengan kandungan mineral mordenit dan klinoptilolit yang dominan. Zeolit alam merupakan mineral aluminosilikat terhidrasi berbentuk kristal yang teratur dan rongga berisi logam alkali yang menyeimbangkan muatan. Zeolit terbuat dari silika $[\text{SiO}_4]^{4-}$ dan alumina tetrahedral $[\text{AlO}_4]^{5-}$ yang mempunyai struktur tiga dimensi dengan luas permukaan yang besar, struktur yang berpori, dan kapasitas tukar kation yang cukup tinggi (Jamil dkk., 2018). Studi terdahulu oleh Helwani dkk. (2015) menemukan bahwa zeolit alam yang diaktivasi oleh asam (seperti HCl) mampu meningkatkan rasio Si/Al, di mana dapat menciptakan lebih banyak situs aktif dan mengoptimalkan struktur pori yang sangat penting untuk aktivitas katalitik. Dukungan zeolit pada CaO bukan hanya berfungsi sebagai penyangga pasif, tetapi juga berkontribusi untuk meningkatkan luas permukaan dan kestabilan katalis, mempermudah difusi reaktan besar seperti trigliserida, dan mempermudah pemisahan serta regenerasi katalis.

Metode impregnasi merupakan teknik sintesis katalis yang lazim digunakan untuk menempatkan logam aktif pada permukaan atau di dalam pori material penyangga (*support*). Prinsip dasar metode ini berdasarkan pada difusi prekursor logam ke dalam struktur pori material pendukung (zeolit), diikuti dengan proses pertukaran ion. Ion tersebut tersebar secara merata dan berinteraksi dengan situs aktif atau situs bermuatan negatif di permukaan material pendukung.

Metode impregnasi yang dilakukan pada penelitian ini digunakan untuk menyisipkan prekursor logam, misalnya ion Ca^{2+} dari larutan $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ ke dalam pori dan permukaan zeolit. Ion Ca^{2+} akan berinteraksi dengan situs bermuatan negatif pada kerangka zeolit dan terjadi proses pertukaran kation (*ion exchange*). Kombinasi CaO/Zeolit Alam menyatukan kedua material dengan kekuatan basa tinggi dari CaO dan karakter pori serta kestabilan zeolit. Hal ini menghasilkan katalis yang memiliki kinerja transesterifikasi minyak jelantah yang unggul. Keberhasilan teknologi produksi biodiesel bergantung pada optimalisasi parameter sintesis katalis dan kondisi operasi reaksi transesterifikasi.

Zeolit digunakan sebagai katalis untuk produksi biodiesel dalam berbagai penelitian sebelumnya. Penelitian yang dilakukan oleh Yusuff dkk. (2023) menggunakan zeolit sintesis yang didukung oleh CaO dari cangkang telur, sementara penelitian lain yang masih menggunakan minyak nabati murni seperti sawit (Lawan dkk., 2020) dan minyak kedelai (Ferrusca dkk., 2023) yang tidak merepresentasikan kondisi limbah nyata serta biaya yang tinggi dan bersaing dengan pangan. Oleh karena itu, nilai kebaruan dalam penelitian ini adalah dalam hal pemanfaatan limbah minyak yang mencerminkan kondisi nyata dan menekan biaya produksi secara signifikan. Pendekatan ini tidak hanya mengatasi masalah biaya dan lingkungan dengan memanfaatkan limbah minyak goreng, tetapi juga memanfaatkan sumber daya mineral lokal (zeolit alam) untuk menghasilkan katalis yang aktif, stabil, dan mudah dipisahkan.

Berdasarkan latar belakang diatas dan penelitian yang sudah ada memberikan dasar ilmiah yang kuat untuk penelitian ini. Penelitian ini berupaya langsung mengkonversi minyak jelantah tanpa tahap pra-esterifikasi dengan memanfaatkan katalis CaO/Zeolit Alam yang dapat mengakomodasi FFA melalui situs asam dan melakukan transesterifikasi melalui situs basa.

I.2. Tujuan Penelitian

Berikut tujuan dalam penelitian ini.

1. Memperoleh zeolit alam terimpregnasi CaO menggunakan prekursor $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$.
2. Menentukan kinerja katalis CaO/Zeolit Alam dalam reaksi transesterifikasi minyak jelantah.