

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pertumbuhan populasi dan industrialisasi global yang pesat telah mendorong berbagai negara untuk mencari sumber energi alternatif yang lebih berkelanjutan guna memenuhi kebutuhan energi dunia yang terus meningkat. Krisis energi fosil yang semakin nyata, ditandai dengan cadangan minyak bumi yang diproyeksikan akan habis dalam kurun 50 tahun ke depan, menjadikan energi terbarukan sebagai prioritas utama dalam agenda pembangunan energi nasional maupun internasional. Dalam konteks ini, biodiesel muncul sebagai salah satu solusi paling menjanjikan karena sifatnya yang dapat diperbaharui, biodegradable, serta memiliki karakteristik pembakaran yang lebih bersih dibandingkan bahan bakar diesel konvensional berbasis fosil (Thanh *et al.*, 2022).

Indonesia memiliki posisi yang sangat strategis dalam pengembangan biodiesel berbasis minyak sawit. Sebagai produsen minyak kelapa sawit terbesar di dunia, Indonesia memproduksi sekitar 46,7 juta ton *Crude Palm Oil* (CPO) pada tahun 2022 dengan luas perkebunan kelapa sawit yang mencapai lebih dari 16,8 juta hektare (Badan Pusat Statistik, 2022). Potensi yang luar biasa ini menjadikan CPO sebagai bahan baku biodiesel yang paling kompetitif secara ekonomi di Indonesia, dengan biaya produksi yang relatif lebih rendah dibandingkan sumber biomassa lainnya seperti jarak pagar (*Jatropha curcas*) atau kemiri sunan (*Reutealis trisperma*) yang masih dalam tahap pengembangan skala besar. Kebijakan mandatori biodiesel B35 yang diberlakukan pemerintah Indonesia sejak Februari 2023 semakin memperkuat urgensi pengembangan teknologi produksi biodiesel yang efisien dan ekonomis.

Meskipun demikian, tantangan utama dalam pemanfaatan CPO sebagai bahan baku biodiesel terletak pada kandungan asam lemak bebas atau *Free Fatty Acid* (FFA) yang cukup tinggi. CPO segar yang baru diproduksi biasanya mengandung FFA berkisar antara 3-5%, namun pada CPO dengan kualitas rendah atau yang telah mengalami penyimpanan tidak tepat, kadar FFA dapat mencapai lebih dari 10% akibat

proses hidrolisis enzimatis dan oksidasi lipid (Silviana, 2015). Standar mutu biodiesel internasional berdasarkan SNI 7182:2015 mensyaratkan kadar FFA dalam bahan baku biodiesel tidak melebihi 2% agar proses transesterifikasi basa dapat berjalan optimal. Apabila kadar FFA melebihi batas tersebut, katalis basa seperti NaOH atau KOH yang lazim digunakan dalam transesterifikasi akan bereaksi dengan FFA membentuk sabun (saponifikasi), yang tidak hanya mengurangi rendemen biodiesel secara drastis tetapi juga mempersulit proses pemisahan produk dan meningkatkan biaya pemurnian.

Esterifikasi merupakan solusi yang telah lama dikenal sebagai tahap pre-treatment untuk menurunkan kadar FFA sebelum proses transesterifikasi. Pada reaksi esterifikasi, FFA bereaksi dengan alkohol (umumnya metanol) dalam kondisi asam untuk membentuk ester dan air. Secara konvensional, katalis asam homogen seperti asam sulfat (H_2SO_4) pekat digunakan sebagai katalis esterifikasi karena aktivitasnya yang tinggi. Namun, penggunaan H_2SO_4 sebagai katalis homogen membawa sejumlah permasalahan serius, meliputi sifat korosif yang merusak peralatan produksi, kesulitan dalam pemisahan katalis dari produk reaksi, potensi pencemaran limbah asam terhadap lingkungan, serta biaya proses penetralan dan penanganan limbah yang signifikan (Lam *et al.*, 2023).

Paradigma *green chemistry* dan kimia hijau mendorong pengembangan katalis heterogen yang dapat mengatasi keterbatasan katalis homogen tersebut. Katalis heterogen, khususnya berbasis material zeolit, menawarkan sejumlah keunggulan fundamental: dapat dipisahkan dengan mudah melalui filtrasi atau sentrifugasi, berpotensi untuk didaur ulang dan digunakan kembali, tidak bersifat korosif, dan menghasilkan limbah yang jauh lebih minimal (Riaz *et al.*, 2026). Di antara berbagai jenis material zeolit, zeolit alam dari Indonesia yang merupakan salah satu produsen zeolit alam terbesar di Asia Tenggara menjadi kandidat katalis yang sangat menarik karena ketersediaannya yang melimpah dan harganya yang jauh lebih murah dibandingkan zeolit sintetis (Amalia *et al.*, 2021).

Zeolit alam Indonesia, yang sebagian besar merupakan jenis klinoptilolit dan mordenit, memiliki struktur aluminosilikat mikropori yang unik dengan luas permukaan spesifik berkisar antara 30-120 m²/g dalam keadaan aslinya. Namun, zeolit alam segar umumnya memiliki aktivitas katalitik yang relatif rendah karena terdapatnya berbagai pengotor mineral dan kation penyeimbang alami seperti Ca²⁺, Na⁺, K⁺, dan Mg²⁺ yang menutupi situs aktif. Aktivasi dengan larutan asam, terutama H₂SO₄ atau HCl, telah terbukti secara ilmiah mampu meningkatkan keasaman permukaan, luas permukaan spesifik, dan aktivitas katalitik zeolit secara signifikan (Sugiarti *et al.*, 2016). Proses aktivasi asam bekerja melalui mekanisme dealuminasi parsial dan penukaran kation, yang menciptakan situs asam Brønsted dan Lewis yang lebih banyak pada permukaan zeolit dan berperan sebagai pusat aktif dalam katalisis esterifikasi

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, penelitian ini dirancang untuk mengkaji secara mendalam pengaruh variasi waktu reaksi (60, 75, dan 90 menit) dan variasi massa katalis zeolit alam teraktivasi asam H₂SO₄ 2M (0,5; 1,5; dan 2,5 gram) terhadap persentase penurunan kadar FFA dalam proses esterifikasi CPO. Pendekatan analisis uji keragaman (ANOVA) faktorial dua faktor digunakan untuk memberikan landasan statistik yang kuat dalam menentukan kombinasi perlakuan optimal. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi nyata bagi pengembangan teknologi produksi biodiesel berbasis CPO yang lebih efisien, ekonomis, dan ramah lingkungan di Indonesia.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang, maka rumusan masalah dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

- 1) Bagaimana pengaruh variasi waktu reaksi terhadap persentase penurunan kadar FFA pada proses esterifikasi CPO.
- 2) Bagaimana pengaruh variasi massa katalis zeolit alam terhadap persentase penurunan kadar FFA pada proses esterifikasi CPO.

- 3) Bagaimana menganalisis kualitas bahan baku biodisel terbaik pada proses esterifikasi CPO dengan menggunakan katalis zeolite alam berdasarkan kadar FFA, massa jenis, sedimen (zat pengotor) dan viskositas.

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah, maka tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

- 1) Menganalisis pengaruh variasi waktu reaksi terhadap persentase penurunan kadar FFA pada proses esterifikasi CPO menggunakan katalis zeolite alam.
- 2) Menganalisis pengaruh variasi massa katalis zeolit alam terhadap persentase penurunan kadar FFA pada proses esterifikasi CPO.
- 3) Menganalisis kualitas bahan baku biodisel terbaik pada proses esterifikasi CPO dengan menggunakan katalis zeolit alam berdasarkan kadar FFA, massa jenis, sedimen (zat pengotor) dan viskositas.

1.4 Manfaat Penelitian

Berdasarkan penelitian yang dilakukan, manfaat yang ingin dicapai adalah sebagai berikut:

- 1) Menghasilkan proses esterifikasi yang baik dalam menurunkan FFA, sehingga pembuatan biodisel menjadi lebih efisien.
- 2) Mengurangi jumlah CPO yang terbuang karena kadar FFA yang tinggi.
- 3) Meningkatkan nilai jual *Crude Palm Oil* sebagai bahan baku biodiesel.
- 4) Menambah nilai jual zeolit alam.

1.5 Batasan Masalah

Agar penelitian ini dapat mencapai sasaran tujuan yang di harapkan, sehingga permasalahan yang ada hanya dibatasi. Berikut ini merupakan batasan masalah yang dicantumkan:

- 1) *Crude Palm Oil* yang berasal dari buah sawit, sawit yang digunakan berasal dari

kebun sawit Politeknik Negeri Jember.

- 2) Uji mutu minyak hasil esterifikasi yang dilakukan adalah kadar FFA, massa jenis, sedimen (zat pengotor) dan viskositas.
- 3) Uji Kualitas CPO yang di esterifikasi meliputi uji kadar asam lemak bebas FFA, densitas, viskositas, kadar air dan sendimen.