

## I. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Dengan meningkatnya permintaan energi dunia serta berkurangnya cadangan sumber energi fosil seperti minyak bumi dan batu bara sebagai sumber energi utama menyebabkan terjadinya krisis energi. Krisis energi dunia merupakan tantangan bagi negara-negara di dunia termasuk Indonesia. Indonesia harus bersiap untuk mengembangkan dan memanfaatkan sumber energi alternatif. Pada tahun 2021, konsumsi energi final di Indonesia didominasi oleh sektor transportasi sebesar 45,76% dan sektor industri sebesar 31,11% dari total energi nasional (Adi dan Lasnawatin, 2022). Visi pengelolaan energi global diarahkan pada koridor pengurangan emisi dan pengurangan sumber energi fosil di semua sektor.

Menurut Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) sepanjang 2023 konsumsi minyak nasional mencapai 518 juta barel dengan 297 juta dipenuhi dari impor, dengan Cadangan minyak Indonesia sebesar 4,70 BBO (*Billion Barrel Oil*). Oleh karena itu, untuk mengatasi sumber minyak bumi yang semakin lama semakin menipis. Salah satu cara untuk mengatasi permasalahan tersebut adalah dengan dilakukannya pengembangan biofuel seperti biodiesel dengan substitusi penggunaan bahan bakar fosil menjadi bahan bakar nabati (BBN) yang diperkuat dengan instruksi Presiden (Inpres) No.1/2006 tentang Penyediaan dan Penggunaan Biofuel (biodiesel) sebagai Energi Alternatif (Kuniasih, 2020).

Berdasarkan data Kementerian ESDM, biodiesel menyumbang 4,1% dari total 11,7% bauran Energi Baru dan Terbarukan (EBT) Nasional. Biodiesel sebagai bahan bakar nabati diatur dalam peraturan Menteri ESDM Nomor 341.K.EK.01.MEM.E/2024. Peraturan ini menetapkan penggunaan biodiesel sebagai campuran pada bahan bakar minyak jenis solar. Adapun spesifikasi biodiesel berdasarkan peraturan tersebut yaitu bahan bakar nabati dihasilkan dari minyak nabati atau lemak hewani, memenuhi standar mutu yang mencakup parameter fisik dan kimia dan dapat dicampurkan dengan bahan bakar solar dalam proporsi tertentu. Biodiesel dikenal sebagai bahan bakar ramah lingkungan dikarenakan bersifat dapat diperbaharui dan menghasilkan emisi gas buangan relatif lebih bersih dibandingkan dengan bahan bakar minyak solar. Gas buangan hasil pembakaran yang dilepaskan ke atmosfer akan diserap kembali oleh tumbuhan untuk keperluan proses fotosintesis. Produksi biodiesel dengan transesterifikasi menggunakan katalis basa heterogen telah dilakukan oleh Falowo *et al.*, (2022) yang mengkonversi limbah minyak jelantah menggunakan katalis basa dari kulit pisang raja menghasilkan nilai *yield* sebesar 97,96%. Naeem *et al.*, (2021) mengkonversi limbah minyak jelantah menggunakan katalis

Na-SiO<sub>2</sub>@TiO<sub>2</sub> menghasilkan *yield* 98%. Marinkovic *et al.*, (2022) mengkonversi minyak biji bunga matahari menggunakan KI/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> menghasilkan *yield* 99,99%. Bahan baku biodiesel diklasifikasikan berdasarkan komposisi asam lemaknya yaitu *Monounsaturated Fatty Acid* (MUFA) dengan satu ikatan ganda, *Polyunsaturated Fatty Acid* (PUFA) dengan dua atau lebih ikatan ganda dan *Saturated Fatty Acid* (SFA). Matome *et al.*, (2025) menyatakan bahwa bahan baku biodiesel yang ideal harus mengandung persentase MUFA yang relatif lebih tinggi dibanding PUFA, maka dari itu pada penelitian ini digunakan minyak biji bunga matahari.

Di Indonesia budidaya bunga matahari masih sangat terbatas, produksi dalam negeri belum dapat memenuhi permintaan. Akibatnya, Indonesia bergantung impor minyak biji bunga matahari dalam jumlah besar. Data BPS menunjukkan impor minyak biji bunga matahari Indonesia mengalami peningkatan dari 2019-2022 yaitu dari 7.928 ton menjadi 11.538 ton. Minyak biji bunga matahari tinggi komposisi asam lemak tak jenuh seperti asam oleat yang dapat menghasilkan biodiesel dengan karakteristik pembakaran baik, fluida baik, nilai kalor tinggi, dan emisi gas buangan yang lebih bersih. Sehingga dengan potensi lahan tropis dan produktivitas global yang baik, budidaya bunga matahari di Indonesia berpeluang ditingkatkan untuk mengurangi impor dan mendukung ketahanan energi nabati. Konversi minyak biji bunga matahari dapat dilakukan dengan reaksi transesterifikasi dengan bantuan ultrasonikasi yang diharapkan mampu mempercepat reaksi, mengurangi penggunaan katalis dan metanol serta menghasilkan nilai biodiesel yang tinggi (Sarve *et al.*, 2016).

Produksi biodiesel menggunakan katalis CaO, CaO/logam telah dilakukan oleh beberapa peneliti. Attari *et al.*, (2022) cangkang telur ayam sebagai sumber CaO. Hasil STA, CaO mulai terbentuk pada saat suhu 900°C. FE-SEM menunjukkan cangkang berukuran 1,8-28,9 mikrometer sedangkan CaO berukuran 1,1-8,4 mikrometer. SEM-EDS menunjukkan CaO terjadi penurunan kandungan C. XRD menunjukkan suhu 900°C terjadi perubahan CaCO<sub>3</sub> ke CaO. *Yield* biodiesel yang dihasilkan 98%. Ramirez *et al.*, (2023) menggunakan katalis CaO/Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> yang bersumber dari cangkang telur dan FeSO<sub>4</sub> dan Fe<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>. Analisis XRD kalsinasi CaO/Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> suhu 600°C menunjukkan CaO menjadi fase dominan, dengan terdapat Ca(OH)<sub>2</sub>. Namun peningkatan suhu kalsinasi menjadikan Ca(OH)<sub>2</sub> menjadi CaO dan mengoksidasi fase Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>. FE-SEM menunjukkan bahwa suhu kalsinasi meningkat, kristalinitas meningkat sehingga ukuran partikel meningkat. Analisis BET menunjukkan suhu 500°C memiliki luas permukaan yang lebih besar dengan kebasaaan rendah. Katalis memiliki kebasaaan yang optimal pada suhu 600°C, pada transesterifikasi kebasaaan lebih

dibutuhkan dibanding luas permukaan. *Yield* biodiesel yang dihasilkan sebesar 95% dengan 7 kali penggunaan kembali katalis. Helwani *et al.*, (2020) menggunakan katalis  $\text{CaO}/\text{Fe}_3\text{O}_4$  dari cangkang telur ayam dan limbah tralis. Analisis XRD, bahwa  $\text{CaO}$  menjadi fase dominan dengan masih terdapat  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ . *Yield* sebesar 90%, 62% menggunakan  $\text{CaO}$  saja dan 33% menggunakan  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  saja.

Adapun katalis yang akan digunakan dalam penelitian ini yaitu  $\text{CaO}$  yang bersumber dari bahan baku cangkang telur ayam. Cangkang telur tersusun atas mineral  $\text{CaCO}_3$  (98,43%),  $\text{MgCO}_3$  (0,84%) dan  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$  (0,75%) (Yuwanta, 2010).  $\text{CaO}$  dapat disintesis menggunakan metode dekomposisi termal. Berdasarkan data dari Badan Pusat Statistika (BPS), produksi telur ayam di Indonesia dari tahun 2021 hingga 2023 selalu mengalami peningkatan yaitu secara berturut turut sebesar 5.155.997 hingga 6.117.905 ton pertahunnya. Seiring dengan meningkatnya produksi telur ayam di Indoensia, maka akan semakin banyak banyak pula jumlah limbah cangkang telur.

$\text{CaO}$  (Kalsium Oksida) adalah salah satu jenis katalis heterogen dan memiliki kebasaaan yang tinggi. Kebasaan  $\text{CaO}$  yang tinggi menyebabkan oksida ini banyak digunakan sebagai katalis pada proses transesterifikasi minyak menjadi biodiesel. Keunggulan katalis  $\text{CaO}$  yaitu berbentuk padatan sehingga mudah dipisahkan pada akhir reaksi (Fanny *et al.*, 2012). Jika  $\text{CaO}$  digunakan secara langsung sebagai katalis pada proses transesterifikasi maka ion oksigen pada permukaan  $\text{CaO}$  akan membentuk ikatan hidrogen dengan metanol atau gliserin yang akan menyebabkan viskositas gliserol meningkat dan membentuk suspensi dengan  $\text{CaO}$  sehingga katalis dan gliserol sulit untuk dipisahkan serta akan menurunkan aktivitas katalitiknya (Liu *et al.*, 2010). Untuk mengatasi permasalahan tersebut,  $\text{CaO}$  harus dikompositkan dengan *support* katalis atau oksida logam. Sehingga diperlukan katalis nanokomposit  $\text{CaO}/\text{Fe}_3\text{O}_4$ . Dengan adanya  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  sebagai *support* dapat meningkatkan kinerja katalis serta memudahkan proses pemisahan katalis yaitu dengan cara menarik katalis menggunakan magnet. Pemisahan 1,7 kali lebih cepat dibandingkan dengan katalis tanpa  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  (Guo *et al.*, 2012).

Salah satu sumber mineral magnetik  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  yaitu pasir besi. Potensi pasir besi di Indonesia melalui alam banyak terdapat di berbagai pantai dan sungai, salah satunya adalah provinsi Jambi. Jambi merupakan salah satu provinsi di Indonesia yang berpotensi menjadi sumber pasir besi melalui sungai Batanghari. Daerah Aliran Sungai Batanghari (DAS) terbesar kedua di Indonesia, dengan luas sekitar 4,5 juta hektar yang membentang sekitar 800 kilometer (Putri, 2024). Selama ini pasir besi sungai Batanghari pada umumnya hanya dijadikan sebagai

bahan bangunan saja. Sedangkan pasir besi mengandung bahan mineral magnetik (Sinurat *et al.*, 2021). Pasir besi sungai Batanghari memiliki kandungan Fe (74,109%), Si (9,124%), Ti (7,826%) dan Al (3,186%) (Kodarta *et al.*, 2024). Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> dapat disintesis menggunakan metode kopresipitasi (Sebayang *et al.*, 2018).

Katalis nanokomposit CaO/Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> dapat disintesis menggunakan metode *ball milling (planetary milling)*. Metode *ball milling* merupakan metode dalam sintesis nanopartikel yang mengendalikan proses fisika untuk memecah material berukuran besar menjadi ukuran nanometer. Metode ini melibatkan penggabungan material menjadi partikel berukuran nanometer tanpa mengubah sifat dasar tersebut. Sintesis nanomaterial/nanopartikel menggunakan *ball mill* memiliki keunggulan kemampuan untuk mengontrol ukuran dan bentuk nanopartikel. Metode ini digunakan untuk jenis material seperti logam, oksida, dan polimer. Ramirez *et al.*, (2023) mensintesis CaO/Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> dengan menggunakan *ball milling* menghasilkan ukuran partikel 51-55 nm. Oleh karena itu penelitian ini telah dilakukan **“Konversi Minyak Biji Bunga Matahari Menjadi Biodiesel Dengan Katalis Nanokomposit CaO/Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> Dari Cangkang Telur Ayam Dan Pasir Besi Sungai Batanghari”**.

### 1.2 Identifikasi dan Perumusan Masalah

1. Bagaimana pengaruh variasi massa CaO dalam katalis nanokomposit CaO/Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> terhadap karakteristik katalis nanokomposit CaO/Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>
2. Bagaimana pengaruh variasi massa CaO dalam katalis nanokomposit CaO/Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> terhadap *yield* biodiesel pada reaksi transesterifikasi minyak biji bunga matahari
3. Bagaimana pengaruh berat katalis, rasio molar minyak:metanol dan suhu dalam reaktor ultrasonik terhadap *yield* biodiesel pada reaksi transesterifikasi minyak biji bunga matahari
4. Bagaimana sifat fisika-kimia biodiesel yang diperoleh berdasarkan *yield* tertinggi sesuai dengan standar dan mutu (*spesifikasi*) biodiesel sesuai SK Dirjen EBTKE no 189/K/10/DJE/2019

### 1.3 Tujuan Penelitian

1. Menghubungkan pengaruh variasi massa CaO dalam katalis nanokomposit CaO/Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> terhadap karakteristik katalis nanokomposit CaO/Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>
2. Menghubungkan pengaruh variasi massa CaO dalam katalis nanokomposit CaO/Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> terhadap *yield* biodiesel pada reaksi transesterifikasi minyak biji bunga matahari

3. Menghubungkan pengaruh berat katalis, rasio molar minyak:metanol dan suhu dalam reaktor ultrasonik terhadap *yield* biodiesel pada reaksi transesterifikasi minyak biji bunga matahari
4. Menyimpulkan sifat fisika-kimia biodiesel yang diperoleh berdasarkan *yield* tertinggi sesuai dengan standar dan mutu (*spesifikasi*) biodiesel sesuai SK Dirjen EBTKE no 189/K/10/DJE/2019

#### **1.4 Hipotesis**

Bila dibandingkan dengan katalis CaO saja, katalis CaO/Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> memiliki keunggulan dalam proses pemisahan katalis, penggunaan kembali katalis serta memiliki aktivitas katalitik yang tinggi dalam reaksi transesterifikasi menggunakan reaktor ultrasonik. Dengan meninjau kondisi optimal reaksi transesterifikasi seperti berat katalis, rasio molar minyak:metanol, dan suhu diharapkan dapat menghasilkan *yield* yang signifikan dan memenuhi spesifikasi biodiesel sesuai SK Dirjen EBTKE no 189/K/10/DJE/2019

#### **1.5 Manfaat Penelitian**

1. Memberikan informasi mengenai hasil metode dari sintesis katalis nanokomposit CaO/Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> dengan menggunakan metode *ball milling* (*planetary milling*)
2. Memberikan informasi mengenai data karakteristik katalis nanokomposit CaO/Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> dengan variasi massa CaO
3. Memberikan informasi mengenai nilai *yield* biodiesel yang dihasilkan dengan menggunakan bahan baku minyak biji bunga matahari pada reaksi transesterifikasi menggunakan reaktor ultrasonik