

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Ketergantungan dunia akan bahan bakar minyak tidak sejalan dengan ketersediaanya dikarenakan keterbatasan produksi dan sifatnya yang tidak terbarukan, hal ini mengakibatkan kenaikan harga minyak mentah dunia. Berdasarkan data BPS dikutip dari CNBC diketahui pada sepanjang tahun 2021 terjadi peningkatan harga minyak dunia jenis *Brent* 50,12 % dan *light sweet* (WTI) 55 %. Situasi yang sama terjadi di Indonesia dimana nilai ekspor minyak mentah lebih rendah dibandingkan dengan nilai impornya. Berdasarkan data BPS, nilai ekspor minyak Indonesia pada Agustus 2021 sebesar US\$ 322,8 juta dengan rincian US\$ 115,4 juta minyak mentah dan US\$ 207,4 juta hasil minyak. Sementara itu nilai impor minyak Indonesia pada Agustus 2021 sebesar US\$ 7.740,6 juta dengan rincian US\$ 2,449,1 juta minyak mentah dan US\$ 5.291,5 juta hasil minyak. Jika diteruskan seperti ini dimana kebutuhan akan bahan bakar minyak diperoleh dan bergantung dengan cara impor, maka tentu akan berdampak pada kas negara, padahal sejak tahun 2006 Indonesia sudah menjadi net importer minyak mentah (BPS, 2021). Selain dari sisi ekonomi penggunaan bahan bakar fosil juga memiliki issue negatif pada bidang lingkungan, penggunaan bahan bakar fosil pada transportasi dapat menghasilkan emisi CO₂, NO_x, SO₂. Karbon dioksida (CO₂) sebagai polutan yang dihasilkan oleh kendaraan dapat menyebabkan pencemaran udara yang berakibat pada pemanasan global (Ismail *et al.*, 2019 dan Paraschiy *et al.*, 2020). Oleh karena itu banyak dilakukan penelitian untuk mengatasi permasalahan tersebut dengan mencari sumber energi alternatif terbarukan.

Indonesia sebagai negara tropis yang memiliki potensi akan sumber daya alamnya yang melimpah, tentu menyimpan begitu banyak sumber energi alternatif yang belum banyak dimanfaatkan, dimana salah satunya adalah bioenergi yang bersumber dari biomassa. Biomassa didefinisikan sebagai bahan yang berasal dari tanaman hidup, termasuk batang pohon, cabang, daun dan residu dari pemanenan pertanian juga pengolahan biji atau buah. Biomassa adalah bagian dari bioenergi padat yang dapat dikonversi dalam bentuk cair atau gas melalui proses kimia (Primadita *et al.*, 2020).

Perkebunan kelapa sawit merupakan salah satu potensi sumber biomassa yang dapat dimanfaatkan mengingat Indonesia merupakan salah satu produsen CPO terbesar didunia tentunya memiliki areal perkebunan kelapa sawit yang luas. Diketahui luas perkebunan kelapa sawit terus mengalami kenaikan dari tahun 2017 sebesar 14 juta hektar dan pada tahun 2020 luasnya mencapai 14,8 juta ha, diprediksi pada tahun 2021 luas perkebunan kelapa sawit di Indonesia mencapai 15 juta hektar, ditahun yang sama provinsi Sumatera Utara termasuk dalam provinsi dengan area perkebunan kelapa sawit terbesar dengan 1,3 juta hektar (Dirjen Perkebunan, 2021). Untuk setiap kg minyak sawit, sekitar empat kg biomassa kering diproduksi, sekitar sepertiganya ditemukan dalam limbah turunan TBS dan dua pertiga lainnya diwakili oleh bahan batang dan pelepah (Sembiring *et al.*, 2015). Selama kegiatan penanaman kembali di perkebunan kelapa sawit, dihasilkan biomassa termasuk pelepah dan batang sawit. Selama panen, tandan dan pelepah sawit dipotong. Dari berbagai limbah yang dihasilkan pelepah kelapa sawit memiliki potensi sebagai sumber biomassa energi terbarukan dan belum banyak penelitian yang membahasnya. Biomassa pelepah sawit yang diperoleh dari kegiatan replanting saat tanaman kelapa sawit berumur 25-30 tahun dan kegiatan pruning dapat menghasilkan 14,4 dan 10,4% pada masing-masing kegiatan (Hambali *et al.*, 2017). Jika ditelaah dari komposisi lignoselulosa penyusunnya pelepah sawit mengandung komponen selulosa, hemiselulosa dan lignin secara berturut-turut 26,47%, 28,43% dan 19,87%. Komponen lignoselulosa tersebut memiliki potensi sebagai bahan bakar alternatif dengan mengkonversinya menjadi *bio-oil* melalui proses fragmentasi dengan suhu tinggi atau biasa disebut pirolisis (Maulina *et al.*, 2018). *Bio-oil* dikenal juga dengan nama minyak pirolisis, cairan pirolisis, dan lain-lain, biasanya berwarna coklat tua, memiki aroma asap yang khas. *Bio-oil* memiliki banyak senyawa penyusun yang berasal dari proses pirolisis melalui dekomposisi termal dari 3 komponen lignoselulosa penyusun biomassa.

Beberapa faktor penting yang perlu diperhatikan selama proses pirolisis berlangsung diantaranya suhu, waktu reaksi, kecepatan pemanasan, dan ukuran sampel (Abbas *et al.*, 2018). *Fast pyrolysis* merupakan metode yang potensial untuk menghasilkan produk *bio-oil* yang optimal (Dollah *et al.*, 2021). Berbagai

penelitian yang telah dilakukan membuktikan efektivitas dari metode ini dalam memproduksi *bio-oil* dari biomassa (Abdullah *et al.*, 2010). Salah satu faktor yang berpengaruh selama proses pirolisis adalah dibutuhkan temperatur yang tinggi dan waktu tinggal umpan dalam reaktor yang cepat sehingga diperlukan ukuran sampel yang ideal. Temperatur yang menunjukkan kondisi optimal adalah sekitar 300-500 °C, selain itu diperlukan juga proses kondensasi yang cepat sehingga uap yang dihasilkan dapat dikondensasi menjadi minyak coklat tua (*bio-oil*) yang maksimal. Oleh karena itu diperlukan umpan biomassa yang halus sehingga mempercepat perpindahan panas dengan memperbesar area antar muka reaksi (Dollah *et al.*, 2021).

Namun, *bio-oil* tidak dapat digunakan secara langsung sebagai bahan bakar karena kelemahan sifat fisikokimia yang dimilikinya, seperti kandungan oksigen dan air yang tinggi, pH rendah, dan viskositas tinggi. Selain itu juga kandungan senyawa oksigenat seperti aldehida, asam, keton, fenol dan *alcohol* yang terdapat pada *bio-oil* menyebabkan ketidakstabilan, nilai kalor *bio-oil* yang rendah, dan korosif (Liu *et al.*, 2015a ; Cheng *et al.*, 2017a). Berbagai kelemahan yang dimiliki *bio-oil*, mendorong banyak peneliti mengembangkan berbagai teknik untuk meningkatkan sifat fisikokimia *bio-oil* diantaranya emulsifikasi (Lin *et al.*, 2020), *catalytic cracking* (Li *et al.*, 2018a), steam reforming (Liu *et al.*, 2020), hidrogenasi (Zhang *et al.*, 2018), hidrideoksigenasi (Pulungan *et al.*, 2022), dan esterifikasi (Xu *et al.*, 2021).

Dengan begitu banyaknya teknik yang dikembangkan dalam proses *upgrading bio-oil*, esterifikasi dan hidrideoksigenasi merupakan beberapa proses yang banyak diminati dikarenakan terbukti pada proses esterifikasi dapat mengurangi senyawa asam dengan mengkonversinya menjadi senyawa ester yang lebih stabil sehingga mengurangi bilangan asam pada *bio-oil* (Xu *et al.*, 2021 ; Kadarwati *et al.*, 2021). Sedangkan pada proses hidrideoksigenasi diketahui dapat mengurangi kandungan oksigen yang terkandung pada *bio-oil* dengan melalui beberapa reaksi seperti dekarboksilasi, hidrogenasi, demetoksilasi, demetilasi, dan deoksigenasi. Dengan berkurangnya kandungan oksigen ini membuat sifat fisikokimia yang dimiliki oleh *bio-oil* seperti nilai kalor dan kestabilannya akan meningkat (Gea *et al.*, 2022a). Oleh karena itu dengan menggabungkan kedua

metode *upgrading* (esterifikasi-hidrodeoksigenasi) maka dimungkinkan diperoleh *bio-oil* dengan sifat fisikokimia yang lebih optimal.

Adapun pada proses hidrodeoksigenasi telah banyak dilaporkan penggunaan katalis untuk mengoptimalkan prosesnya. Jenis katalis yang banyak digunakan dalam reaksi HDO adalah katalis bifungsional dengan sistem logam pengemban, logam transisi banyak digunakan sebagai katalis dikarenakan harganya yang murah dengan aktivitas yang tinggi (Cheng *et al.*, 2017b). Seng merupakan salah satu logam transisi hemat biaya yang menunjukkan stabilitas dan aktivitas katalitik yang sangat baik untuk meningkatkan senyawa teroksidasi dalam minyak nabati menjadi hidrokarbon. Diketahui pada penelitian Cheng *et al.* (2017c), mengenai pengaruh suhu terhadap kualitas dan peningkatan *yield* produk *bio-oil* pada proses HDO limbah serbuk gergaji pinus dengan menggunakan katalis ZnO. Hasil penelitian menunjukkan proses *upgrading bio-oil* pada suhu 200 °C menghasilkan rendemen fase minyak tertinggi sebesar 14,07%, dan proses *upgrading bio-oil* pada suhu 400 °C menghasilkan *bio-oil* dengan kandungan hidrokarbon tertinggi sebesar 68,95%. Sedangkan logam transisi lainnya yang banyak digunakan adalah logam Cu, pada beberapa penelitian seperti pada penelitian Li *et al.* (2017) yang mengamati pengaruh mendeposisikan logam Cu pada katalis Ni/HZSM-5 terhadap pembentukan kokas dan proses deaktivasi katalis dalam proses HDO *bio-oil*. Hasil yang didapat menunjukkan bahwa katalis Ni/HZSM-5 lebih mudah terbentuk kokas dan lebih cepat terdeaktivasi dibandingkan katalis bimetal dengan logam Cu (Ni-Cu/HZSM-5). Hal ini dikarenakan katalis bimetalik yang terdiri dari Ni dan Cu dapat mengaktifkan hidrogen pada suhu reaksi yang lebih rendah, yang mendukung peningkatan hidrogenasi dan menahan reaksi polikondensasi pada saat yang bersamaan.

Selain logam aktif, bahan pendukung juga merupakan faktor kunci yang menentukan kinerja katalitik pada katalis bifungsional (Oh *et al.*, 2019). *Support* berfungsi sebagai tempat untuk mendispersikan nanopartikel logam dan membawa situs aktif untuk reaksi HDO, beberapa *support* yang banyak digunakan diantaranya silika (Guo *et al.*, 2019), alumina (Muangsuwan *et al.*, 2021), zeolit (Sihombing *et al.*, 2020) dan zirkonia (Resende *et al.*, 2018). Dibandingkan dengan pendukung katalis lainnya, zeolit memiliki stabilitas termal yang baik dan

menyediakan situs asam yang sesuai, sehingga berpotensi besar pada proses katalisis reaksi HDO (Hu *et al.*, 2021). Pada penelitian Hita *et al* (2019) dilakukan variasi *support* (zeolit β , zeolit ZSM-5, dan zeolit Y) pada katalis bifungsional FeMoP dalam reaksi HDO *bio-oil*. Hasil yang didapat, zeolit dilaporkan sebagai pendukung yang menjanjikan untuk katalis FeMoP pada hidredeoksigenasi (HDO) *bio-oil* menghasilkan senyawa aromatik dan fenolat, memberikan aktivitas, selektivitas dan stabilitas yang tinggi daripada katalis FeMoP tanpa pendukung zeolit. Keberadaan situs yang cukup asam (35-53%) telah menghasilkan manfaat untuk meningkatkan reaksi dehidrasi menuju pembentukan fase produk organik. Selain itu terdapat juga zeolit mordenit (Mor) yang menunjukkan sifat mikropori, mesopori, dan luas permukaan spesifik yang tinggi (Hu *et al.*, 2021; Liu *et al.*, 2015b). Sehingga dapat memberikan tempat untuk menyebarkan nanopartikel logam dan memaksimalkan proses katalitik yang terjadi selama proses HDO berlangsung.

Berdasarkan latar belakang tersebut maka pada penelitian ini digunakan oksida logam CuO dan ZnO sebagai material katalis bifungsional dengan *support* zeolit mordenit, untuk diamati aktivitas dan selektivitasnya pada *upgrading bio-oil* hasil pirolisis limbah pelepah sawit melalui proses hidredeoksigenasi sebagai bahan bakar alternatif.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut ;

1. Bagaimana pengaruh ukuran partikel sampel terhadap proses pirolisis limbah pelepah sawit?
2. Bagaimana karakteristik katalis Mordenit, CuO/Mordenit, ZnO/Mordenit, dan CuO-ZnO/Mordenit hasil preparasi ?
3. Bagaimana aktivitas dan selektivitas katalis dengan karakteristik terbaik diantara Mordenit, CuO/Mordenit, ZnO/Mordenit, CuO-ZnO/Mordenit pada proses hidredeoksigenasi *bio-oil* ?
4. Bagaimana sifat fisikokimia *bio-oil* hasil pirolisis dan proses hidredeoksigenasi (HDO)?

1.3 Batasan Masalah

Ruang lingkup penelitian ini dibatasi sebagai berikut :

1. Uji pengaruh ukuran partikel sampel terhadap proses pirolisis limbah pelepah sawit.
2. Uji karakteristik katalis Mordenit, ZnO/Mordenit, CuO/Mordenit, dan CuO-ZnO/Mordenit hasil preparasi.
3. Uji aktivitas dan selektivitas katalis dengan karakteristik terbaik diantara Mordenit, ZnO/Mordenit, CuO/Mordenit, dan CuO-ZnO/Mordenit pada proses hidrodeoksigenasi *bio-oil*.
4. Kondisi suhu pada proses pirolisis yaitu 500°C sedangkan pada proses hidrodeoksigenasi dilakukan pada suhu 250 °C, 300 °C, dan 350 °C.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut ;

1. Untuk mengetahui pengaruh ukuran partikel sampel terhadap proses pirolisis limbah pelepah sawit.
2. Untuk mengetahui karakteristik katalis Mordenit, CuO/Mordenit, ZnO/Mordenit, dan CuO-ZnO/Mordenit hasil preparasi.
3. Untuk mengetahui aktivitas dan selektivitas katalis dengan karakteristik terbaik diantara Mordenit, CuO/Mordenit, ZnO/Mordenit, dan CuO-ZnO/Mordenit pada proses hidrodeoksigenasi *bio-oil*.
4. Untuk mengetahui sifat fisiokimia *bio-oil* hasil pirolisis dan proses Hidrodeoksigenasi (HDO).

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari dilakukannya penelitian ini adalah ;

1. Memperoleh *bio-oil* dengan karakteristik yang sesuai untuk digunakan sebagai bahan bakar alternatif.
2. Mengetahui efisiensi dari katalis dengan karakteristik terbaik diantara Mordenit, CuO/Mordenit, ZnO/Mordenit, dan CuO-ZnO/Mordenit pada proses hidrodeoksigenasi *bio-oil* pelepah kelapa sawit.
3. Sebagai rujukan untuk penelitian selanjutnya dalam proses konversi biomassa untuk bahan bakar dengan menggunakan katalis.