BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Konsumsi akan sumber energi berkelanjutan di Indonesia semakin meningkat hingga saat ini dengan tingkat konsumsi rata-rata minyak mengalami kenaikann sebesar 6% per tahun. Namun, cadangan dan produksi minyak bumi semakin menurun hingga 10% setiap tahun. Mengahadapi tantangan tersebut, Indonesia terpaksa mengimpor minyak bumi untuk memenuhi kebutuhan energi bahan bakar (fosil) (Issafira *et al.*,, 2024). Mengacu pada tujuan pembangunan berkelanjutan, banyak upaya dikembangkan untuk meningkatkan manfaat industri kelapa sawit dengan merancang jalur ekonomi sirkular. Selain pemanfaatan limbah kelapa sawit dan sludge, pemanfaatan limbah padat juga perlu diintensifkan (Ramanda *et al*., 2023).

Berdasarkan data Badan Pusat Statistik (BPS) tahun 2023 terdapat 26 kabupaten penghasil kelapa sawit dengan total produksi di Indonesia 46.986,10 ribu ton dan di Sumatera Utara 5.017,40 ribu ton kelapa sawit (BPS, 2023). Dalam 1 ton tandan buah segar yang diolah akan menghasilkan limbah berupa janjangan kosong 23%, cangkang 6,5%, lumpur atau *solid* 4%, serabut 3% dan limbah cair sebanyak 50% (Suprianto dan Nusantara, 2024). Cangkang kelapa sawit mengandung 51,6% karbon C serta kadar abu yang rendah sehingga menjadi bahan yang potensial dalam pembuatan karbon aktif (Kasih dan Khair, 2020). Cangkang sawit mengandung hemiselulosa sebesar 26,16%, selulosa 6,92%, serta lignin 53,85%. Kandungan lignin dan selulosa pada setiap biomassa dapat mempengaruhi pembentukan biochar. Semakin tinggi kandungan lignin yang dihasilkan, maka akan menghasilkan pembentukan arang yang lebih tinggi. Cangkang sawit mengandung lignoselulosa yang tinggi yang menunjukkan bahwa cangkang sawit memiliki potensi sebagai bahan baku pembuatan biochar (Andrio dkk., 2024)

Kekurangan katalis logam yaitu dapat terjadi penggumpalan komponen aktif logam saat proses katalitik berlangsung, sehingga umur katalis mengalami penurunan. Untuk mengatasi penggumpalan pada logam dan menambah umur katalis, katalis logam dapat diembankan pada bahan pendukung seperti silika-

alumina, alumina atau *biochar* (Yuhermita dkk., 2021). *Biochar* yang mengandung gugus fungsi C=O, C-O, dan lainnya dapat menyediakan lebih banyak situs pengikatan permukaan untuk hidrogenasi katalitik. Ukuran pori yang besar, luas permukaan spesifik yang tinggi, stabilitas yang kuat, biaya pembuatan yang rendah, dan kemampuan modifikasi permukaan yang kuat menjadikannya ideal sebagai penopang katalis. Dalam proses hidro-*upgrading* biomassa pada katalis logam/*biochar*, komponen logam aktif bertanggung jawab untuk hidrogenasi, sementara reaksi alkilasi dan polimerisasi sebagian besar dikatalisis oleh posisi spesifik dari penopang (Wang *et al*., 2021).

Reaksi hidrodeoksigenasi (HDO) telah menjadi fokus penelitian dalam pengembangan teknologi konversi *bio-oil* menjadi bahan bakar cair yang berkualitas tinggi. Pulungan *et al.,* (2022) mengkaji proses hidrodeoksigenasi (HDO) *bio-oil* dari limbah cangkang kelapa dengan menggunakan katalis zeolit alam *Sarulla* (ZAS) yang dimodifikasi dengan logam Co dan kombinasi logam Co-Mo. Penelitian ini bertujuan untuk meningkatkan stabilitas fisikokimia bio-oil selama penyimpanan, sehingga memperluas potensinya sebagai sumber energi hidrokarbon alternatif. Proses HDO dilakukan pada suhu 250°C selama 2 jam, menghasilkan *bio-oil* dengan penurunan kadar oksigen dan peningkatan kadar karbon. Derajat deoksigenasi *bio-oil* Co/ZAS mencapai 80%, sedangkan Co-Mo/ZAS 49%. Hasil HDO dapat meningkatkan HHV *bio-oil* Co/ZAS dari 12,46 MJ/Kg menjadi 19,40 MJ/Kg, meskipun angka asamnya tetap tinggi. Sementara itu, Sihombing *et al*., (2023) melakukan pemurnian bio-oil untuk meningkatkan kualitasnya menggunakan metode hidrodeoksigenasi (HDO) pada berbagai rasio katalis dan suhu. Pada penelitian ini diketahui bahwa ZnO/HZ 5 wt%. menunjukkan kinerja katalitik terbaik, dengan konversi fase organik mencapai sekitar 50%. *Bio-oil* yang telah dimurnikan dari Fe_2O_3, ZnO, dan CuO memiliki sifat fisikokimia berkualitas tinggi dengan nilai karbon, oksigen, kadar air, dan HHV masing-masing 37–52%, 40–53%, 8–27%, dan 17–21 MJ/kg. Hasil ini menunjukkan kinerja katalitik yang tinggi untuk proses hidrodeoksigenasi *bio-oil* menggunakan oksida logam transisi berbasis zeolit alami untuk produksi biofuel yang lebih baik dan biaya rendah.

Beberapa penelitian terkait material logam/*biochar* untuk mendukung berbagai reaksi katalitik telah dilakukan. Pada penelitian Saleh *et al.,* (2024) mengkaji produksi *Biochar* dari cangkang kelapa sawit melaui proses pirolisis. Hasil yang diperoleh cangkang sawit memiliki luas permukaan spesifik (SSA) sebesar 299,7565 m^2/g, volume pori sebesar 0,1632 cm^3/g, serta ukuran pori rata-rata sebesar 2,17783 nm. Sehingga *biochar* dari cangkang kelapa sawit ini menjadi material yang sesuai untuk mendukung berbagai reaksi katalitik. Adilina *et al.,* (2021) menggunakan *biochar* dari tandan kosong kelapa sawit sebagai katalis dalam proses hidrodeoksigenasi (HDO) guaiakol (GUA) yang berfungsi sebagai senyawa model *bio-oil*. Dalam penelitian ini, *biochar* yang dihasilkan menunjukkan struktur makropori dan mesopori dengan adanya situs hidrofilik dan hidrofobik serta sifat asam-basa. Katalitik uji menunjukkan bahwa *biochar* efektif dalam mengkatalisis HDO GUA, menghasilkan fenol dan kresol sebagai produk utama dengan *yield* 60% sementara tanpa penggunaan katalis *yield* yang dihasilkan hanya 20%. Selektivitas dan mekanisme yang berbeda diamati pada katalis berbasis Ni yang didukung, yang memberikan tingkat selektivitas yang lebih tinggi untuk hidrogenasi cincin benzena. Shao *et al.,* (2024) memanfaatkan *biochar* sebagai bahan dasar katalis dalam bentuk monolit berbasis *clay/biochar* (CBM). Penambahan *biochar* tidak hanya berperan dalam meningkatkan stabilitas struktur monolit, tetapi juga menyediakan situs aktif untuk pemuatan logam Fe melalui metode impregnasi. Kombinasi ini memungkinkan pembentukan katalis Fe/CBM dengan aktivitas tinggi dalam mengaktivasi peroksimonosulfat (PMS) untuk degradasi levofloxacin (LVF).

Penelitian terkait katalis berbasis logam dengan penyangga biochar telah banyak dikembangkan, salah satunya oleh Mudi et al., (2023) yang menggunakan katalis Ni/biochar dari kayu untuk reaksi hidrodeoksigenasi bio-oil vanilin menjadi p-creosol. Pada penelitian ini ditunjukkan bahwa katalis Ni/Biochar yang disintesis melalui impregnasi nikel pada biochar dari kayu mampu mencapai konversi vanilin hingga 97% dengan selektivitas tinggi terhadap p-creosol sebesar 91,17%. Aktivasi biochar dengan H_2SO_4 dan KOH terbukti meningkatkan luas permukaan dan porositasnya, yang berdampak pada peningkatan kinerja katalis. Namun, penelitian ini masih terbatas pada penggunaan biochar dari kayu,

sementara sumber biochar lain, seperti cangkang kelapa sawit, belum banyak dieksplorasi dalam sintesis katalis Ni/Biochar. Selain itu, pada penelitian ini masih terbatas dengan memanfaatkan satu logam saja. Pada pemanfaatan mono-metal yang diembankan biochar telah dilakukan oleh Allwar *et al.,* (2022) yang menggunakan biochar yang teremban logam Ni dan Cd untuk reaksi *hydrocracking bio-oil* dari cangkang sawit. Adanya katalis pada reaksi *hydrocracking* menghasilkan produk cair lebih tinggi sebesar 56,55 wt% dibandingkan tanpa penggunaan katalis yang menhasilkan produk cair sebesar 20,55 wt%.

Penelitian terdahulu menunjukkan bahwa katalis Co-Mo memiliki aktivitas tinggi sehingga berpotensi sangat baik dalam berbagai reaksi katalitik. Muangsuwan *et al.* (2021) menggunakan katalis $CoMo/Al_2O_3$ dalam proses hidrodeoksigenasi (HDO) *bio-oil* dari tandan kosong kelapa sawit yang dihasilkan melalui proses solvotermolisis. Katalis $CoMo/Al_2O_3$ menunjukkan kemampuan yang signifikan dalam meningkatkan kualitas *bio-oil* dengan menurunkan kandungan oksigen dari 42,3% menjadi 38,9% pada suhu 350°C, sekaligus meningkatkan rasio C/O menjadi 1,45. Selain itu, nilai kalor *bio-oil* juga meningkat secara substansial, dari 20,2 MJ/kg (*bio-oil* mentah) menjadi 32,4 MJ/kg setelah proses HDO menggunakan katalis CoMo/Al2O3 pada suhu 350 °C. Peningkatan ini menunjukkan efisiensi katalis dalam mengurangi kandungan oksigen sehingga dapat meningkatkan kualitas *bio-oil* agar lebih mirip bahan bakar fosil. Selain itu, Sihombing *et al.,* (2020) mengkaji pengaruh pemuatan logam Co dan Co-Mo pada Zeolit Alam Sarulla yang telah diaktivasi dan dikalsinasi (SNZ-Cal) sebagai pendukung dalam reaksi *hydrocracking* minyak biji karet MEFA. Pemampuan logam Co dan kombinasi logam Co-Mo pada SNZ-Cal mempengaruhi sifat dan kinerja katalis. Katalis yang dihasilkan mengalami oksidasi pada suhu 500°C selama 2 jam dalam aliran gas oksigen, kemudian direduksi menggunakan aliran gas H_2 dengan kondisi serupa. Hasil penelitian menunjukkan bahwa katalis yang diimpregnasi dengan logam Co memiliki luas permukaan dan diameter pori yang lebih besar, serta volume pori yang lebih kecil dibandingkan dengan katalis yang diimpregnasi logam Co-Mo. Katalis Co juga menunjukkan aktivitas katalitik dan selektivitas yang lebih tinggi, dengan produk

gas yang dihasilkan mencapai 64wt% dan distribusi fraksi biogasoline hidrokarbon (C6-C12) sebesar 83,19 wt%. Penelitian ini memberikan wawasan lebih lanjut mengenai peran logam Co dan Co-Mo dalam meningkatkan aktivitas katalitik dan selektivitas pada reaksi *hydrocracking*.

Berdasarkan uraian di atas, maka akan dilakukan penelitian ekperimental "**Sintesis Katalis Bifungsional Co-Mo/Biochar Cangkang Sawit Dan Uji Aktivitasnya Pada Reaksi Hidrodeoksigenasi *Bio-Oil* Cangkang Sawit"** dengan harapan untuk mengetahui hasil sintesis katalis bifungsional CoMo/*biochar* dari limbah cangkang kelapa sawit yang digunakan pada hidrodeoksigensi *bio-oil* dari limbah pelepah sawit.

1.2 Identifikasi Masalah

Tingginya ketergantungan Indonesia pada bahan bakar fosil yang terus meningkat 6% per tahun tidak sebanding dengan cadangan minyak bumi yang menurun 10% setiap tahun, sehingga diperlukan solusi energi berkelanjutan. Limbah kelapa sawit, khususnya cangkang sawit, memiliki potensi besar sebagai bahan baku *biochar* untuk aplikasi katalis, namun pemanfaatannya masih belum optimal. Katalis logam konvensional sering mengalami penggumpalan, yang menyebabkan efisiensi dan umur katalis menurun, sehingga dibutuhkan katalis berbasis biochar yang lebih stabil untuk meningkatkan kualitas *bio-oil* melalui proses hidrodeoksigenasi (HDO).

1.3 Batasan Masalah

Ruang lingkup penelitian ini dibatasi sebagai berikut:

1. Penelitian menggunakan limbah cangkang kelapa sawit sebagai bahan baku untuk sintesis *biochar* dan *bio-oil*.
2. Uji karakteristik katalis CoMo/biochar dengan instrumen XRD, BET, dan SEM-EDX
3. Kondisi suhu pada reaksi hidrodeoksigenasi (HDO0 untuk *upgrading bio-oil*, yaitu 275, 300, dan 325℃.

1.4 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan di atas, maka yang menjadi perumusan masalah dalam penelitian ini, yaitu sebagai berikut.

1. Bagaimana metode dan karakteristik katalis bifungsional Co-Mo/*biochar* dari limbah cangkang kelapa sawit?
2. Bagaimana sifat fisikokimia dari produk hasil *upgrading* bio-oil dengan reaksi hidrodeoksigenasi?
3. Bagaimana aktivitas katalis CoMo/biochar terhadap reaksi hidrodeoksigenasi bio-oil yang berasal dari cangkang sawit

1.5 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah, adapun tujuan penelitian ini, yaitu sebagai berikut.

1. Mensintesis katalis bifungsional Co-Mo/*Biochar* dari limbah cangkang kelapa sawit.
2. Mengkarakterisasi sifat fisikokimia katalis CoMo/biochar yang dihasilkan.
3. Menguji aktivitas katalis terhadap reaksi hidrodeoksigenasi bio-oil yang berasal dari cangkang sawit.

1.6 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini, yaitu sebagai berikut.

1. Memberikan alternatif solusi energi berkelanjutan melalui pemanfaatan limbah cangkang kelapa sawit sebagai bahan baku *biochar* untuk katalis hidrodeoksigenasi (HDO).
2. Menghasilkan katalis bifungsional Co-Mo/*biochar* yang dapat meningkatkan kualitas *bio-oil* sehingga lebih mirip bahan bakar fosil.
3. Mendukung pengembangan jalur ekonomi sirkular dengan memaksimalkan nilai tambah limbah kelapa sawit untuk aplikasi energi terbarukan.