

BAB I

PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang

Menurunnya ketersediaan cadangan bahan bakar fosil serta meningkatnya emisi gas rumah kaca mendorong pengembangan sumber energi terbarukan berbasis biomassa. Salah satu senyawa platform berbasis biomassa yang menjanjikan yaitu 5-Hidroksimetilfurfural (5-HMF). 5-HMF dapat diturunkan menjadi berbagai turunan bernilai tambah, khususnya kandidat bahan bakar cair. Diantara turunannya, 2,5-dimetilfuran (DMF) yang diperoleh melalui proses hidrideoksigenasi 5-HMF telah terbukti sebagai biofuel potensial karena memiliki densitas energi tinggi, kestabilan termal, dan emisi rendah (Li dkk., 2023). Dari sisi keamanan, titik nyala DMF tercatat sekitar 16°C (Xiao dkk., 2016), lebih rendah dibandingkan biofuel lain yang umumnya berada pada rentang 38–270°C (Goga dkk., 2018). Hal ini menunjukkan DMF lebih mudah menyala sehingga memerlukan penanganan dan penyimpanan yang lebih hati-hati, namun sifat tersebut sekaligus mendekatkannya dengan karakteristik bensin konvensional. Dengan demikian, produksi 5-HMF dari sumber biomassa tidak hanya berperan sebagai platform kimia, tetapi juga memiliki signifikansi strategis dalam mendukung transisi menuju sistem energi rendah karbon dan berkelanjutan.

Senyawa 5-HMF dapat diproduksi dari karbohidrat turunan biomassa, seperti fruktosa, glukosa, sukrosa, inulin, pati, dan selulosa melalui proses dehidrasi (Hu dkk., 2019). Namun, sebagian besar produksi 5-HMF diperoleh dari proses dehidrasi fruktosa (Lueckgen dkk., 2018). Hal ini disebabkan konversi fruktosa

menjadi 5-HMF hanya membutuhkan satu tahap reaksi, yaitu eliminasi molekul air. Namun, ketersediaan fruktosa yang terbatas serta biaya produksinya yang tinggi membatasi aplikasinya dalam skala industri. Sebagai alternatif, glukosa yang lebih melimpah dan ekonomis dapat dijadikan bahan baku dalam produksi 5-HMF (Aranha dan Gogate, 2022).

Penggunaan glukosa sebagai bahan baku dalam produksi 5-HMF memiliki beberapa kelemahan. Dibandingkan fruktosa, glukosa memiliki reaktivitas dan selektivitas yang lebih rendah. Hal tersebut dikarenakan adanya proses isomerisasi glukosa menjadi fruktosa terlebih dahulu sebelum didehidrasi menjadi 5-HMF (Rusanen dkk., 2020). Proses isomerisasi ini memerlukan bantuan katalis, seperti basa atau asam Lewis. Selain itu, sintesis 5-HMF dari glukosa juga memungkinkan terbentuknya humin yang lebih tinggi sehingga menyebabkan turunnya persentase *yield* 5-HMF. Upaya untuk mengatasi kelemahan-kelemahan tersebut yaitu dengan penggunaan katalis dalam isomerisasi glukosa menjadi fruktosa dan dilanjutkan dehidrasi fruktosa menjadi 5-HMF.

Terdapat 2 jenis katalis yaitu katalis homogen dan katalis heterogen. Katalis homogen berada di fasa yang sama dengan reaktan, umumnya dalam bentuk larutan, sehingga interaksi antar molekul berlangsung lebih merata. Namun, pemisahan katalis homogen dari produk reaksinya membutuhkan teknis pemisahan yang rumit. Selain itu, katalis homogen umumnya tidak dapat digunakan kembali secara efisien, sehingga penggunaannya yang bersifat sekali pakai dapat menimbulkan pencemaran lingkungan dan meningkatkan limbah kimia berbahaya. Sebaliknya, penggunaan katalis heterogen dinilai lebih efisien karena

pemisahannya yang relatif sederhana dan lebih ramah lingkungan karena dapat digunakan secara berulang (Huang dkk., 2021). Beberapa jenis katalis heterogen seperti zeolit, silika, alumina, karbon aktif, serta logam transisi yang didukung pada material padat, telah banyak digunakan dalam berbagai reaksi kimia karena stabilitas termalnya yang tinggi dan kemudahan dalam pemisahan dari campuran reaksi.

Penggunaan logam mulia mampu meningkatkan efisiensi reaksi konversi glukosa menjadi 5-HMF. Penelitian Goyal dkk., (2022) menyebutkan *yield* 5-HMF dari glukosa dengan bantuan katalis logam mulia berupa Pd yang didukung ZrO_2 yaitu sebesar 35% hingga 68%. Meskipun *yield* 5-HMF menggunakan katalis logam mulia cukup tinggi, namun katalis berbasis logam mulia memiliki harga yang relatif mahal yang menyebabkan peningkatan biaya produksi. Oleh karena itu, penelitian dalam mencari alternatif lain dengan biaya lebih rendah semakin mendapatkan perhatian dalam upaya meningkatkan efisiensi biaya produksi.

Katalis berbasis logam transisi memiliki harga yang lebih rendah jika dibandingkan logam mulia (Li dkk., 2024). Logam transisi seperti Nikel menunjukkan kinerja yang cukup efisien (Azman dkk., 2021). Patrylak dkk., (2022) melaporkan katalis logam nikel yang diemban pada zeolit mordenite mampu mengkatalisis glukosa menjadi 5-HMF dengan *yield* 16%. Kekurangan penggunaan logam Ni sebagai katalis yaitu rentan menghasilkan kokas yang dapat menonaktifkan katalis secara bertahap. Oleh karena itu diperlukan logam lain sebagai pemisah dan penstabil struktur, seperti logam Zn yang mampu meminimalisir dihasilkannya kokas (Linares dkk., 2014). Selain itu, katalis logam

murni tanpa dukungan material lain juga rentan mengalami aglomerasi (penggumpalan partikel) yang menyebabkan penurunan luas permukaan aktif dan menurunkan efisiensi reaksi. Aglomerasi ini terjadi karena gaya tarik antartikel logam yang tinggi, sehingga partikel cenderung saling menempel dan membentuk partikel yang lebih besar. Oleh karena itu, material pendukung (*support*) sangat diperlukan untuk mendispersikan logam secara merata, menjaga kestabilan partikel logam, serta membentuk struktur komposit yang lebih aktif, stabil, dan selektif sebagai katalis.

Karbon aktif merupakan material berpori dengan luas permukaan dan ukuran pori yang besar, sehingga banyak digunakan sebagai material pendukung dalam aplikasi katalitik (Iwanow dkk., 2020). Struktur pori yang besar dan melimpah memungkinkan logam dapat diimbun dalam struktur karbon, sehingga meningkatkan jumlah situs aktif yang tersedia. Selain itu, karbon aktif mengandung berbagai gugus fungsi permukaan, seperti gugus hidroksil (-OH), karboksil (-COOH), dan karbonil (C=O), yang berperan dalam mendukung reaksi katalitik. Gugus hidroksil (-OH) dan karboksil (-COOH) sebagai situs asam Brønsted, berpotensi mengkatalisis reaksi hidrolisis fruktosa menjadi 5-HMF (Choudhary dkk., 2013; Megías-Sayago dkk., 2021). Dengan karakteristik tersebut, karbon aktif berpotensi sebagai material dasar dalam pengembangan katalis heterogen.

Karbon aktif dapat disintesis dari berbagai macam bahan baku, seperti polistirena (Paula dkk., 2018), limbah biomassa (Gan, 2021), dan lain sebagainya. Tempurung kelapa merupakan limbah biomassa yang pemanfaatannya kurang dimaksimalkan. Tempurung kelapa berpotensi menjadi bahan utama sintesis

karbon aktif dikarenakan kandungan karbon (C) yang tinggi (Das dkk., 2015). Indonesia merupakan salah satu negara dengan luas area perkebunan kelapa terbesar di dunia, mencapai 3,8 juta hektar. Total produksi kelapa di Indonesia diperkirakan mencapai 3,2 juta ton per tahun (Lutfi dkk., 2021). Pemanfaatan tempurung kelapa sebagai bahan baku karbon aktif didasarkan pada ketersediaannya yang melimpah serta metode produksinya yang relatif sederhana.

Meskipun penelitian mengenai sintesis karbon aktif dari tempurung kelapa sudah banyak dilakukan, studi mengenai pengembangan karbon aktif berbasis tempurung kelapa sebagai pendukung logam oksida ganda (*bimetallic*) masih terbatas. Selain itu, informasi mengenai efek pengembangan logam oksida terhadap karakteristik struktur pori dan distribusi logam dalam matriks karbon, khususnya dalam aktivitas katalitik dalam reaksi konversi glukosa menjadi 5-HMF belum banyak dilaporkan. Beberapa penelitian sebelumnya hanya berfokus pada penggunaan karbon komersial. Oleh karena itu, penelitian ini difokuskan pada sintesis komposit KA/NiO-ZnO berbasis tempurung kelapa untuk mengetahui potensinya sebagai katalis dalam reaksi konversi glukosa menjadi 5-HMF.

Permasalahan yang telah diuraikan sebelumnya melatarbelakangi pengembangan komposit KA/NiO-ZnO berbasis tempurung kelapa sebagai katalis heterogen dalam konversi glukosa menjadi 5-HMF. Pengembangan ini bertujuan untuk menghasilkan material katalitik yang tidak hanya bersumber dari limbah biomassa melimpah dan kurang termanfaatkan, tetapi juga mampu meningkatkan efisiensi reaksi konversi glukosa melalui keberadaan situs asam Lewis dan Brønsted pada permukaan material. Inovasi ini diharapkan dapat memberikan

kontribusi terhadap pengembangan platform kimia berbasis biomassa sebagai alternatif bahan bakar terbarukan, sekaligus mendukung upaya pengurangan limbah organik yang berpotensi mencemari lingkungan.

I.2 Tujuan Penelitian

1. Melakukan sintesis karbon aktif dari tempurung kelapa dan komposit KA/NiO-ZnO berbasis tempurung kelapa
2. Melakukan karakterisasi kimia dan fisika *biochar*, karbon aktif tempurung kelapa, dan komposit KA/NiO-ZnO
3. Melakukan uji katalisis pada komposit KA/NiO-ZnO dalam reaksi konversi glukosa menjadi 5-hidroksimetilfurfural (5-HMF)