

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Penelitian

Pada tahun 2016, dikutip dari *United Nations Statistic Division* (UNSD), Indonesia termasuk ke dalam peringkat 10 besar penghasil emisi karbon dioksida (CO_2) terbanyak bersama dengan beberapa negara maju seperti Cina, Jepang, Amerika Serikat, Rusia dan Jerman (Kusumawardani dan Dewi, 2020). Di tahun 2012 dan 2017, Indonesia dilaporkan mengalami peningkatan emisi gas CO_2 tahunan rata-rata sebesar 18%. Dengan ini, Indonesia dinobatkan sebagai negara penyumbang emisi CO_2 terbesar di wilayah Asia Tenggara (Coetzee dkk., 2020). Menurut (Yuaningsih dkk., 2020), gas CO_2 meningkat seiring dengan pertumbuhan ekonomi dan urbanisasi suatu negara. Hal ini juga bergantung pada konsumsi energi suatu industri, pembangkit listrik, penggunaan bahan bakar, biomassa dan knalpot kendaraan.

Karbon dioksida merupakan gas utama yang menyebabkan pemanasan global dikarenakan mengisi sebanyak 60% gas rumah kaca (Phillips dan Phillips, 2012). Bertambahnya jumlah CO_2 di atmosfer menyebabkan beberapa bencana alam secara global seperti kenaikan suhu udara dan laut, pengasaman air laut, terganggunya ekosistem, gagal panen hingga kemusnahan makhluk hidup. Akibat masalah lingkungan yang terjadi, studi terkait pengembangan metode yang efisien untuk mengurangi jumlah emisi CO_2 di atmosfer telah menarik perhatian para ilmuwan di dunia. Beberapa metode yang telah digunakan untuk mengurangi emisi CO_2 adalah *Carbon Capture Storage* (CCS) dan *Carbon Capture and Utilization* (CCU). Namun, penggunaan teknologi CCS ini memiliki beberapa keterbatasan diantaranya memerlukan energi yang tinggi dalam proses pemisahan, pemurnian, kompresi, transportasi dan penyimpanan (Singh Dhankhar dkk., 2020).

Oleh karena itu, metode CCS lebih lanjut dikembangkan menjadi CCU yang memanfaatkan gas CO_2 sebagai bahan baku karbon (C1) untuk sintesis bahan kimia dan bahan bakar. Metode CCU digunakan untuk mengubah CO_2 menjadi produk bernilai tinggi akibat kelimpahannya di alam, tidak beracun, tidak

mudah terbakar, murah, mudah ditangani dan terbarukan. Beberapa produk yang dapat dihasilkan dari konversi CO₂ adalah asam format, dimetil karbonat, karbonat siklik, dan lain-lain (Pal dkk., 2020). Salah satu cara yang paling efisien untuk memanfaatkan CO₂ sebagai blok penyusun C1 adalah reaksi kopling CO₂ dengan epoksida yang menghasilkan karbonat siklik. Reaksi ini merupakan *green economic reaction* dengan sintesis *100% atom efficiency* sehingga sangat menarik untuk dipelajari dan diterapkan. Karbonat siklik dapat diaplikasikan dalam berbagai bidang industri diantaranya sebagai pelarut ramah lingkungan, prekursor polimer, kosmetik, agrikultur dan elektrolit dalam baterai litium (Kathalikkattil dkk., 2015).

Hal ini sangat menguntungkan untuk diterapkan pada skala industri sebab dapat menekan biaya produksi. Namun, sifat inert dan stabilitas termodinamika CO₂ yang tinggi telah menghalangi proses aktivasi dan fiksasi CO₂ (Kiatkittipong dkk., 2020). Maka dari itu, katalis berperan penting dalam mengkonversi CO₂ menjadi karbonat siklik. Untuk memperoleh reaksi dengan efisiensi atom 100% diperlukan selektivitas yang tinggi terhadap produk akhir yaitu karbonat siklik. Beberapa studi menunjukkan bahwa katalis homogen maupun heterogen efektif untuk reaksi sikloadisi CO₂ dan epoksida (Bhin dkk., 2017). Meskipun katalis homogen memiliki aktivitas katalitik yang baik, terdapat beberapa masalah ketika digunakan diantaranya adalah proses pemisahan dan perolehan kembali yang sulit. Oleh sebab itu, katalis heterogen lebih disukai karena dapat mengatasi masalah tersebut.

Studi penelitian terus dilakukan guna mengembangkan katalis heterogen yang kuat dan aktif terhadap reaksi sikloadisi. *Metal Organic Frameworks* (MOFs) merupakan kelas baru dari material berpori yang dapat difungsikan sebagai platform ideal untuk material penangkap CO₂ karena memiliki kapasitas adsorpsi gas yang besar (Sumida dkk., 2012). Lebih lanjut, MOFs dapat mengkatalisis reaksi sikloadisi karena memiliki pusat logam terbuka yang bertindak sebagai situs asam lewis (H. He dkk., 2016). MOFs memiliki sifat unik yang sangat menarik seperti luas permukaan yang besar, porositas tinggi, mikropori yang seragam, kapasitas adsorpsi yang tinggi, mudah disintesis, mudah difungsionalisasi dan memiliki stabilitas termal serta kimia yang tinggi

(Zanon dkk., 2017). *Zeolitic Imidazolate Frameworks* (ZIFs) merupakan salah satu jenis material berpori MOFs yang memiliki karakteristik seperti zeolit. ZIFs tersusun dari logam pusat seng (Zn) atau kobalt (Co) yang terikat dengan ligan organik imidazole (Im) (Babu dkk., 2017). ZIFs memiliki karakteristik yang mirip dengan zeolit, terutama dari segi struktur sehingga menjadi kandidat katalis yang kuat untuk reaksi sikloadisi CO₂ dan epoksida (Hwang dkk., 2016).

Beberapa jenis MOFs termasuk ZIFs yang telah berhasil disintesis untuk mengkatalis reaksi sikloadisi CO₂-epoksida adalah ZIF-71 (Babu dkk., 2018a), ZIF-95 (Bhin dkk., 2017), ZIF-78 (Lin dkk., 2017), Zn(atz)(btc)_{0,5} (Luo dkk., 2020), Fe/ZIF-8 (Hu dkk., 2020), Cu(TPA) (Tavakoli, 2020), HKUST-1 (Al-Janabi dkk., 2015) dan MOF-14 (Karra dkk., 2013). Sebagai katalis, masing-masing MOFs memiliki efektivitas yang beragam. Oleh karena itu, studi ini dilakukan untuk mengetahui jenis MOFs yang paling efektif dalam menghasilkan karbonat siklik dari CO₂ dan epoksida. Beberapa faktor yang dapat mempengaruhi hasil konversi CO₂-epoksida akan dikaji secara komparatif pada beberapa MOFs yang dianalisis sehingga diharapkan dapat dipelajari peranannya dalam reaksi sikloadisi yang dikatalis MOFs secara umum. Dengan bertambahnya pengetahuan mengenai efektivitas beberapa MOFs ini, diharapkan mampu memudahkan proses pemilihan jenis MOFs yang akan digunakan sehingga dapat segera diterapkan dalam skala besar.

1.2 Rumusan Masalah Penelitian

Berdasarkan latar belakang yang telah dipaparkan, rumusan masalah dalam penelitian ini yakni sebagai berikut.

1. Bagaimana efektivitas penggunaan katalis MOFs untuk menghasilkan karbonat siklik?
2. Bagaimana pengaruh parameter reaksi terhadap efektivitas katalis MOFs pada reaksi sikloadisi CO₂-epoksida?
 - a. Waktu
 - b. Temperatur
 - c. Tekanan CO₂
 - d. Konsentrasi katalis
 - e. Kelembapan

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang telah disebutkan, adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Mengetahui efektivitas penggunaan katalis MOFs untuk menghasilkan karbonat siklik.
2. Mengetahui pengaruh waktu reaksi, temperatur, tekanan CO₂, konsentrasi katalis dan kelembapan terhadap efektivitas katalis MOFs dalam reaksi sikloadisi CO₂-epoksida.

1.4 Manfaat/signifikansi Penelitian

Beberapa manfaat yang dapat diperoleh dari penelitian ini diantaranya sebagai berikut.

1. Manfaat Teoritis

Memberikan informasi mengenai pengaruh beberapa parameter reaksi terhadap efektivitas MOFs sebagai katalis reaksi sikloadisi CO₂ dan epoksida.

2. Manfaat Praktis

Membantu dalam memilih jenis katalis MOFs yang paling efektif untuk menghasilkan karbonat siklik dengan selektivitas yang tinggi.

1.5 Batasan Masalah

Penelitian ini hanya membahas efektivitas penggunaan katalis MOFs untuk menghasilkan karbonat siklik serta pengaruh parameter reaksi, tetapi tidak membahas cara sintesis dan karakterisasi katalis MOFs, mekanisme katalis dan adsorpsi untuk masing-masing MOFs serta variabel lain selain suhu, waktu, tekanan CO₂, konsentrasi katalis dan kelembapan.