

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Konsentrasi gas karbon dioksida (CO₂) telah meningkat sejak awal Revolusi Industri, asap dari hasil pembakaran oleh mesin-mesin industri menyebabkan polusi di udara sehingga meningkatkan gas CO₂ di atmosfer. Konsentrasi gas CO₂ di era pra-industri adalah sebesar 278 ppm, sedangkan pada tahun 2005 sebesar 379 ppm. Tingginya pola konsumsi dan pertumbuhan ekonomi di era saat ini akan menyebabkan konsentrasi CO₂ di atmosfer meningkat dua kali lipat dalam kurun waktu 100 tahun mendatang jika dibandingkan pada awal zaman industri yaitu sekitar 580 ppm. Jumlah gas CO₂ yang tertimbun di atmosfer diperkirakan telah mencapai 50%. Banyaknya konsentrasi gas CO₂ inilah yang menyebabkan perubahan iklim secara global (Pambudi *et al.*, 2017).

Oleh karena itu, banyak upaya telah dilakukan untuk mereduksi konsentrasi gas CO₂ di atmosfer seperti dengan menggunakan material berbasis karbon seperti biochar (Damris *et al.*, 2023; Damris, 2019; Sethupathi *et al.*, 2017). *Biochar* merupakan arang hayati yang dihasilkan dari dekomposisi termokimia suhu tinggi bahan organik (karbonisasi melalui proses pirolisis). *Biochar* (BC) adalah adsorben yang banyak digunakan yang dibuat melalui pirolisis berbagai limbah biomassa pada suhu di bawah 700°C di bawah kondisi oksigen terbatas, dan yang diterapkan untuk menghilangkan polutan termasuk logam berat dan organik dengan manfaat dan sangat ekonomis, tersedia secara luas, dan ramah lingkungan. Padahal, situs aktif permukaan yang terbatas dan luas permukaan spesifik sangat membatasi kapasitas adsorpsi *biochar*. *Doping heteroatom* dalam kerangka karbon (C) *biochar*, terutama heteroatom nitrogen (N), dapat meningkatkan porositas BC dan memperkaya jumlah dan jenis gugus fungsi aktif di permukaannya, sehingga mendorong penghilangan polutan oleh *biochar*. *Biochar* merupakan salah satu adsorben padat yang banyak dipelajari untuk *capture* CO₂ (Sethupathi *et al.*, 2017) karena pembuatan *biochar* yang sederhana dari bahan baku limbah organik (Creamer *et al.*, 2016) yang tersedia melimpah. Produksi *biochar* pada lingkungan oksigen yang terbatas dan suhu yang relatif rendah tidak memerlukan tahapan aktivasi kimia seperti yang dilakukan pada arang aktif (Sethupathi *et al.*, 2017). Tidak seperti arang biasa yang dihasilkan dari karbonisasi konvensional, *biochar* mempunyai sifat stabil dan kaya karbon (>50%), serta dapat membantu mengurangi emisi gas rumah kaca dan memperlambat perubahan iklim global karena menyimpan karbon dalam tanah (Aisyah, 2019).

Biochar telah menerima banyak perhatian selama beberapa tahun terakhir. Karena *biochar* dianggap sebagai sarana yang menjanjikan untuk mengelola limbah biomassa. Perubahan rasio H/C dan O/C terjadi selama proses pirolisis mengubah struktur molekul, susunan atom dan menghasilkan stabilitas tinggi. Oleh karena itu, *biochar* dapat menyimpan karbon selama 100-1000 tahun dalam tanah yang sangat penting untuk kesuburan tanah. Karakteristik *biochar* tersebut bermanfaat untuk mengurangi emisi CO₂ dengan meningkatkan penyerapan karbon jangka panjang afinitas penyerapan yang kuat dan meningkatkan kualitas tanah dan air (Damris, 2019).

Biochar telah diaplikasikan untuk mengatasi berbagai isu lingkungan seperti pencemaran logam berat (Damris *et al.*, 2018), bahan organik (Li *et al.*, 2020), pemulihan lahan (Mayer *et al.*, 2014), reduksi emisi gas rumah kaca dari lahan pertanian (Damris *et al.*, 2018) dan *capture* CO₂ di udara (Nguyen dan Lee, 2016; Promraksa dan Rakmak, 2020; Dissanayake *et al.*, 2020; Chatterjee *et al.*, 2020). Penggunaan *biochar* untuk *capture* CO₂ di udara didorong dari kenyataan bahwa konsentrasi CO₂ di atmosfer telah meningkat tajam seperti yang diukur di Observatorium Mauna Loa di Hawaii mencapai 415,26 ppm dan diestimasi pada tahun 2050 akan mencapai 550 ppm (Qiao dan Wu, 2022). Hal ini akan menjadi sangat berbahaya bagi manusia dan kehidupan karena akan terjadi kenaikan suhu permukaan bumi dan perubahan iklim yang ekstrim. Oleh karena itu, adalah sangat urgensi untuk mengurangi konsentrasi CO₂ di atmosfer melalui pemanfaatan kemajuan sains dan teknologi yang ada saat ini.

Di sisi lain, bahan berpori untuk *capture* CO₂ adalah metode yang sangat menjanjikan yang dapat digunakan dibandingkan dengan teknologi berbasis adsorpsi cair seperti *monoethanolamine* (MEA), *diethanolamine* (DEA) dan *potassium carbonate* dan penangkapan gas CO₂. *Capture* CO₂ merupakan metode yang hemat biaya, mudah dirancang, fungsional, hidrofobisitas, hemat energi, operasi sederhana dan regenerasi adsorben yang mudah (Creamer *et al.*, 2016; Nguyen dan Lee, 2016; Dissanayake *et al.*, 2019; Chatterjee *et al.*, 2020).

Cangkang sawit merupakan limbah industri organik yang dapat diuraikan namun karena tektur dari bahan tersebut yang cukup membutuhkan waktu yang cukup lama untuk penguraiannya secara alami. Arang aktif adalah karbon yang sudah diaktifkan sehingga pori-porinya terbuka yang mengakibatkan daya serapnya lebih besar dari arang biasa. Arang aktif merupakan karbon amorf yang sebahagian terdiri dari karbon bebas yang mempunyai permukaan dalam (*internal surface*) sehingga mempunyai kemampuan daya serap (*adsorption*) yang baik. Produksi arang aktif di Indonesia masih belum mencukupi keperluan dalam negeri, untuk arang aktif

dengan kualitas tertentu Indonesia masih mengimport sebanyak 2.000 ton/tahun. Arang aktif adalah karbon yang tak berbentuk dan diolah secara khusus untuk menghasilkan luas permukaan yang sangat luas, permukaan sangat besar berkisar antara 300-2000 m³/gram. Luas permukaan yang besar dari struktur karbon aktif dari suatu karbon aktif yang membuat struktur karbon aktif memberikan kemampuan aktif untuk menyerap (*adsorp*) berupa gas-gas maupun uap-uap dan juga dapat mengurangi zat-zat yang terdapat dalam suatu *liquid* (Chatterjee *et al.*, 2020)

Prinsip utama dari adsorpsi adalah berkontakannya gas dengan cairan, gas tersebut mempunyai kelarutan terhadap cairan sehingga gas akan berdifusi ke dalam cairan. Peristiwa ini dipengaruhi oleh laju alir, tekanan gas dan luas antar fase antara gas dan cairan. Adsorpsi dalam industri salah satunya diaplikasikan dalam bentuk *packed column*. Alat ini berupa kolom yang berisi isian tempat berkontakannya gas dan cairan serta dilengkapi distributor cairan. Analisis terhadap laju alir gas dan cairan pada adsorpsi di dalam *packed column* dilakukan untuk mengetahui pengaruh laju alir gas dan cairan terhadap laju penyerapan dalam *packed column* disamping itu juga untuk mendapatkan korelasi empiris antara laju adsorpsi terhadap laju alir massa cairan (L) dan gas (G). *Packed column* merupakan peralatan yang sederhana yang terdiri dari *shell silinder* sebagai kolom berisi isian (*packing*) yang ditopang oleh *packing support* serta dilengkapi distributor untuk mendistribusikan cairan (Mc Cabe, 2013).

Aktivator KOH berperan membentuk pori pada arang, semakin besar konsentrasi aktifier maka larutan akan semakin pekat sehingga larutan aktivator akan lebih mudah untuk mengikat dan volatil hasil proses karbonisasi. Akibatnya arang aktif akan semakin kekurangan tar dan volatil yang ikut terbuang saat pencucian dilakukan, sehingga arang aktif akan semakin bebas dan memiliki luas permukaan aktif yang semakin besar. (Yuningsih *et al.*, 2016). Biochar yang diaktivasi dengan KOH 4 M, terjadi penurunan kadar abu pada karbon. Hal ini dikarenakan aktivasi karbon menggunakan KOH dapat mengekstraksi kandungan silikat pada biochar, yang berakibat turunnya presentase kadar abu setelah karbon diaktivasi. *Biochar* yang telah diaktivasi KOH akan memperluas permukaan pada karbon disebabkan karena semakin banyaknya penguapan senyawa mudah menguap pada *biochar*, sehingga dapat membentuk ruang kosong dan pori pada struktur karbon (Jeong *et al.*, 2015).

Setelah dimodifikasi dengan menggunakan basa, selanjutnya dimodifikasi adsorben atau *biochar* lebih lanjut dengan senyawa kaya Nitrogen (N) yang memiliki daya adsorpsi yang sangat selektif dan laju difusi CO₂ yang

tinggi didalam mesopori (Bali *et al*; 2013). Hal ini perlu dilakukan karena dengan bantuan senyawa heteroatom dalam kerangka karbon (C) dari *biochar* (BC), terutama Nitrogen (N) heteroatom, dapat meningkatkan porositas BC dan memperkaya jumlah dan jenis gugus fungsi aktif diatas permukaannya, sehingga meningkatkan kemampuan menghapus polutan oleh BC seperti penyerapan CO₂ (Chen *et al.*, 2017). Dalam hal memperkaya N, Sumber N yang umum digunakan tidak hanya diperoleh dari zat organik seperti urea, anilin dan melamin, tetapi juga sumber anorganik seperti NH₃, NH₄⁺, dan NO₃⁻. Selanjutnya penelitian Kasera *et al.* (2022), menunjukkan *biochar* yang dibentuk dari kulit kayu pinus dimodifikasi dengan melamin, urea, amonium klorida, dan amonium nitrat untuk mensintesis *biochar* tersebut agar kaya unsur nitrogen mendapatkan hasil berupa sampel dengan modifikasi melamin bernilai 4,75% lebih tinggi dibandingkan sampel *biochar* termodifikasi lainnya.

Dalam penelitian ini *modified biochar* digunakan sebagai *precursor* untuk menghasilkan *N-doped modified biochar* yang kaya gugus fungsi yang mengandung nitrogen (N) melalui strategi *N-doped biochar* untuk *capture* CO₂ di udara secara langsung. Berdasarkan uraian di atas, penulis mengajukan penelitian yang berjudul **“PENGARUH LAJU ALIR GAS TERHADAP CAPTURE CO₂ OLEH BIOCHAR CANGKANG KELAPA SAWIT TERMODIFIKASI KOH DAN MELAMIN SIANURAT PADA PACKED COLUMN”**.

1.2 Identifikasi dan Rumusan Masalah

Peningkatan konsentrasi gas CO₂ di atmosfer sudah mencapai tingkatan tertinggi yaitu melebihi 400 ppm dan merupakan gas rumah kaca utama yang bertanggung jawab terhadap isu pemanasan global, perubahan iklim dan cuaca ekstrim. *Capture* CO₂ di udara dengan bahan kimia tertentu mahal untuk diaplikasi dan kemungkinan berdampak negatif terhadap manusia dan lingkungan. Oleh karena itu pengembangan material baru yang memiliki daya *capture* yang tinggi terhadap CO₂, mudah dan murah aplikasinya adalah *urgent* untuk dilakukan. Dalam hal ini *biochar* modifikasi KOH digunakan sebagai *precursor* untuk sintesis *N-doped modified biochar* untuk *capture* CO₂. Gas-gas CO₂ yang tidak di-*capture* dan melewati *fixed-bed absorption column* akan di-*capture* oleh *absorber purging bubble* sehingga CO₂ dapat dikuantifikasi dengan tittasi asam-basa.

Berdasarkan uraian di atas, adapun rumusan masalah pada penelitian ini yaitu sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh laju alir gas CO₂ terhadap *capture* CO₂ oleh *biochar* non aktivasi dan *N-Doped Modified Biochar* pada *packed column* dalam larutan NaOH ?

2. Bagaimana kapasitas adsorpsi *biochar* cangkang kelapa sawit non aktivasi dan *N-Doped Modified Biochar* ?
3. Bagaimana karakterisasi *biochar* dari cangkang kelapa sawit sebelum dimodifikasi KOH, setelah modifikasi KOH dan setelah *N-Doping* menggunakan instrumen SEM-EDX dan FTIR ?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini antara lain:

1. Menganalisis pengaruh laju alir gas CO₂ terhadap *capture* CO₂ oleh *biochar* yang diaktivasi KOH dan di-doping nitrogen pada *packed column*.
2. Menentukan kapasitas adsorpsi *biochar* dari cangkang kelapa sawit
3. Menentukan karakteristik *N-Doped Modified Biochar* menggunakan FTIR dan SEM-EDX.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini yaitu sebagai berikut:

1. Mengembangkan material baru yang memiliki daya *capture* yang tinggi terhadap CO₂.
2. Memberikan informasi kepada pembaca mengenai kapasitas adsorpsi dan karakteristik *biochar* dari cangkang kelapa sawit sebelum dimodifikasi, setelah aktivasi KOH dan *N-Doped Modified Biochar*