

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Pemanasan global adalah suatu permasalahan yang muncul karena terlalu banyak gas rumah kaca di atmosfer, sehingga gas ini menyelimuti bumi dan memantulkan radiasi panas kembali ke permukaan bumi. Adanya gas rumah kaca di atmosfer sekarang ini menjadi semakin bertambah, bahkan sampai berlebihan karena pembakaran bahan bakar fosil seperti batu bara, gas dan minyak bumi atau penggundulan hutan dan pembakaran hutan. Ada banyak jenis gas rumah kaca lainnya seperti metana (CH_4), dinitrogen oksida (N_2O), perfluorokarbon (PFC) dan hidrofluorokarbon (HFC), tetapi gas karbon dioksida (CO_2) memiliki risiko terbesar dalam perubahan iklim karena gas ini terus terakumulasi di atmosfer dalam jumlah besar (Nurdiawansyah et al., 2018). Semenjak revolusi industri, pertumbuhan pesat industri ekonomi selalu diiringi dengan kebutuhan energi yang sangat besar, yang mengakibatkan akumulasi emisi CO_2 terus berlangsung, mengakibatkan berbagai permasalahan lingkungan. Faktanya, penyebab utama emisi CO_2 ada 2 faktor: aktifitas manusia dan fenomena alam. Data terbaru menunjukkan bahwa 96.5% emisi CO_2 berasal dari penggunaan energi bahan bakar fosil (Shi H., 2022).

Konsentrasi gas rumah kaca yang meningkat khususnya CO_2 di atmosfer menimbulkan kekhawatiran serius, salah satunya terhadap pasokan energi berbasis bahan bakar fosil. Sumber energi terbarukan, seperti sinar matahari, angin, air, dan gelombang laut, sedang dipertimbangkan sebagai energi alternatif karena lebih ramah lingkungan, berkelanjutan, dan bebas karbon. Pemanfaatan energi terbarukan dalam skala besar tersebut dapat terjadi, namun, menantang karena ketidakstabilan sumber energi tersebut. Selain solusi tadi, ide yang menjanjikan adalah senyawa elektro berbasis karbon yang dihasilkan dari sumber yang melimpah, seperti CO_2 dan H_2O , menggunakan energi terbarukan sebagai sumber energi (Qi Lu, 2016). Senyawa elektro adalah senyawa yang dihasilkan melalui metode elektrokimia.

Konversi gas CO₂ dapat dilakukan dengan menggunakan teknik termal katalis, fotokatalis, fotoenzim katalis, fotoelektrokimia, dan reaksi elektrokimia (Xu L., 2020). Dari berbagai macam teknik untuk mengkonversi gas CO₂ menjadi senyawa yang bernilai tambah ataupun dikonversi kembali menjadi bahan bakar, teknik yang paling sering digunakan adalah reduksi secara elektrokimia (Jiwanti et al., 2019). Reaksi reduksi ini hampir sama dengan proses fotosintesis di mana CO₂ dikonversi menjadi berbagai senyawa, seperti karbon monoksida (CO), formaldehida (HCOH), asam format (HCOOH), metanol (CH₃OH), dan metana (CH₄), melalui bantuan arus listrik (elektroreduksi) atau energi cahaya (fotoreduksi) (Wu J. et al., 2017). Beberapa sumber energi listrik untuk teknik elektrokimia yang dapat diperbaharui seperti energi cahaya matahari dan angin biasanya mudah terinterupsi oleh musim dan cuaca, sehingga diperlukan teknologi penyimpanan energi. Pengkonversian CO₂ menjadi bahan kimia yang berguna adalah dengan cara menggunakan energi listrik sebagai sumber energinya dan air sebagai sumber donor protonnya dan juga berbagai macam katalis telah dilaporkan untuk mengkatalisis reaksi reduksi CO₂ ini. Teknik elektrokimia akan jauh lebih efektif apabila dibandingkan dengan teknik lainnya seperti teknik termal, karena air digunakan untuk mengganti gas hidrogen (H₂) sebagai donor protonnya. Teknik elektrokimia banyak menarik perhatian peneliti karena kondisi pengoperasiannya yang ringan (suhu dan tekanan standar), kondisi dan laju reaksi yang dapat dikontrol, katalis dan elektrolit yang dapat dipakai kembali, peralatan yang simpel, selektivitas produk yang berbeda-beda, dan hasil konversi yang lebih efisien (Sánchez, O., 2019).

Ada beberapa hal yang perlu diperhatikan pada reaksi reduksi CO₂ secara elektrokimia ini, salah satunya yaitu produk yang dihasilkan dari reaksi ini sangat beragam sehingga tantangan disini adalah untuk menemukan suatu katalis yang akan menghasilkan satu produk saja yang diinginkan. Hal lain yang perlu diperhatikan lagi adalah evolusi gas hidrogen juga terjadi secara bersamaan dengan reaksi reduksi gas CO₂ secara elektrokimia, sehingga diperlukan untuk mencari katalis yang akan mengutamakan reaksi reduksi CO₂

dibandingkan dengan reaksi evolusi hidrogen. Pada penelitian sebelumnya, CO_2 dapat dikonversi langsung secara elektrokimia menjadi bahan bakar dan bahan kimia yang berguna dengan menggunakan bantuan elektroda logam yang sesuai atau nanopartikel semikonduktir (NPs). Elektroda logam yang berbeda akan menunjukkan selektivitas produk yang berbeda juga, misalnya katalis logam mulia seperti Au, Pd, dan Ag bersifat selektif terhadap pembentukan CO, logam transisi baris pertama seperti Fe dan Co juga membentuk CO, sementara Sn, Ln, dan Pb selektif terhadap pembentukan HCOO^- (Woldu A., 2022). Dari uraian sebelumnya, dapat diketahui bahwa elektroda berperan cukup penting dalam proses reduksi CO_2 secara elektrokimia.

Telah banyak penelitian tentang elektoreduksi CO_2 dalam beberapa dekade belakangan ini. Penelitian tersebut pada umumnya menggunakan elektroda karbon, elektroda logam atau logam kompleks, atau elektroda semikonduktor. Elektroda logam yang sering digunakan adalah golongan logam transisi, seperti emas (Au), platinum (Pt), dan tembaga (Cu). Elektoreduksi CO_2 pada elektroda tembaga (Cu) dapat menghasilkan produk berupa etanol, aseton, asetaldehid, dan asam format pada potensial reduksi -1,6 V dengan efisiensi faraday kurang dari 1%. Percobaan lain dengan menggunakan elektroda *Boron-Doped Diamond (BDD)* yang dideposisi oleh tembaga dilakukan dengan kondisi yang sama sebagai perbandingan, hasilnya didapatkan produk yang sama berupa etanol, aseton, asetaldehid, dan asam format namun dengan potensial reduksi yang lebih rendah yaitu -1,0 V dengan efisiensi faraday lebih dari 5% (Jiwanti et. al, 2018). Elektroda karbon seperti *Glassy Carbon (GC)* juga pernah digunakan untuk elektoreduksi CO_2 , reduksi dilakukan pada potensial reduksi -1.3 V hasilnya diamati bahwa tidak terdapat selektifitas produk yang teramati dengan sebagian besar diproduksi gas hidrogen, namun, pada elektroda BDD hasil yang didapatkan adalah selektifitas berupa metanol dan juga terdapat produk samping gas hidrogen dengan konsentrasi yang jauh lebih sedikit daripada elektroda GC (Jiwanti, 2016). Hasil tersebut menunjukkan bahwa elektroda BDD dapat melakukan aktifitas elektoreduksi CO_2 yang lebih baik dibandingkan elektroda GC.

Elektroda *Boron-Doped Diamond (BDD)* merupakan elektroda semi-logam berbasis karbon (Muzyka Et. al, 2018). BDD telah digunakan untuk elektoreduksi CO₂, karena sifatnya yang cocok dan menghasilkan efek katalis yang bagus untuk proses tersebut. BDD mempunyai arus latar belakang yang rendah dan jendela potensial yang lebar sehingga dapat mencegah adanya evolusi hidrogen yang dikenal sebagai pengganggu dalam reaksi reduksi CO₂, terutama dalam pelarut yang mengandung air. Selain itu juga, BDD bersifat inert secara kimia dan mempunyai daya tahan fisik yang tinggi, sehingga sangat sesuai untuk dipakai sebagai aplikasi secara langsung (Jiwanti P.K. et al., 2019). Sifat khusus dari BDD inilah yang menjadikan elektroda ini berbeda dari elektroda lain, seperti *Glassy Carbon (GC)*, sehingga membuat BDD menjadi elektroda yang menjanjikan untuk proses elektoreduksi CO₂.

Jiwanti P.K. et al., pada tahun 2019, telah melakukan penelitian tentang elektoreduksi CO₂ untuk menghasilkan senyawa dengan jumlah atom karbon yang tinggi menggunakan elektroda BDD yang murni atau tanpa modifikasi. Jiwanti mengkonfirmasi bahwa saat menggunakan BDD murni, produksi metanol dari hasil proses reduksi dapat diperoleh dengan selektifitas yang tinggi yaitu sebesar 24,3% dengan terdapat beberapa produk dengan selektifitas yang rendah (<1%), hal ini menunjukkan bahwa selektifitasnya berupa produk metanol. Terlebih lagi, dengan memodifikasi permukaan elektroda dengan nanopartikel tembaga (Cu) senyawa dengan jumlah atom karbon yang lebih tinggi dapat diperoleh. Selanjutnya, pada tahun yang sama, Jiwanti juga melaporkan tentang pembuatan modifikasi permukaan elektroda BDD dengan gabungan tembaga dan nikel (CuNi-BDD), modifikasi elektroda dengan gugus fungsi dan/atau logam tertentu dilakukan agar dapat meningkatkan kestabilan dan performa (seperti selektivitas) elektroda saat digunakan dalam situasi tertentu, dalam kasus ini reduksi CO₂. Hasil penelitian menunjukkan bahwa modifikasi material kupro dan nikel berhasil dideposisi tanpa mengakibatkan kerusakan pada elektroda BDD maupun pada material modifikasi. Elektoreduksi CO₂ yang dilakukan pada elektroda CuNi-BDD menghasilkan bermacam-macam produk yang penting seperti metanol, asam format, CO, dan

metana. Sebagai tambahan, penerapan potensial yang berbeda pada proses elektroreduksi berdampak pada selektivitas produk.

$Ti_3C_2T_x$ merupakan bagian dari MXene. MXene merupakan material yang berasal dari logam transisi karbida atau nitrida dengan morfologi 2 dimensi yang memiliki ketebalan dalam skala nano atau yang biasa disebut bentuk lembaran nano (*nanosheet*), yang menarik perhatian dalam kurun waktu 1 dekade akhir-akhir ini, karena sifat fisik dan kimianya yang luar biasa (Low J. et. al, 2018). MXene mempunyai rumus kimia yang umum $M_{n+1}X_nT_x$, dimana M melambangkan logam transisi, seperti Ti, Mo, V; X melambangkan atom C dan/atau N; dan T menandakan terminasi permukaan; seperti $-O$, $-OH$, $-F$ (Ma J. et. al 2021). Selain morfologi lembaran nano, $Ti_3C_2T_x$ memiliki berbagai sifat fisika dan kimia lain yang sangat menguntungkan, seperti konduktivitas listrik yang baik (9880 S/cm, nilai ini lebih tinggi dari konduktivitas grafena), band-gap dalam daerah sinar tampak, serta kekuatan yang mekanik yang tinggi, namun dengan struktur yang fleksibel. Sifat-sifat tersebut menunjukkan potensi $Ti_3C_2T_x$ baik sebagai katalis elektroreduksi CO_2 .

Dengan demikian, pada penelitian ini akan dilakukan modifikasi permukaan elektroda BDD menggunakan material $Ti_3C_2T_x$ (MXene) yang berperan sebagai katalis dalam proses reduksi CO_2 secara elektrokimia untuk menghasilkan senyawa kimia yang lebih bermanfaat. Berbagai parameter uji seperti konsentrasi MXene dan variasi potensial akan diujikan untuk mengetahui kondisi optimum reduksi. Karakterisasi menggunakan metode *Scanning Electron Microscope-Energy Dispersive X-Ray (SEM-EDX)* dilakukan untuk mengetahui morfologi permukaan elektroda yang akan dimodifikasi. Hasil reduksi yang berupa larutan akan dianalisa menggunakan *High Performance Liquid Chromatography (HPLC)* kemudian dihitung efisiensinya.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang permasalahan diatas, maka dapat dirumuskan permasalahan sebagai berikut:

1. Bagaimana morfologi permukaan elektroda BDD yang telah termodifikasi material $Ti_3C_2T_x$?
2. Apa saja senyawa yang dihasilkan dari reduksi CO_2 secara elektrokimia pada elektroda BDD yang dimodifikasi dengan material $Ti_3C_2T_x$?
3. Bagaimana pengaruh konsentrasi material $Ti_3C_2T_x$ dan variasi potensial reduksi terhadap reduksi CO_2 secara elektrokimia pada elektroda BDD yang dimodifikasi dengan material $Ti_3C_2T_x$?

1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Mengetahui morfologi permukaan elektroda BDD yang telah termodifikasi material $Ti_3C_2T_x$.
2. Mengetahui senyawa yang dihasilkan dari reduksi CO_2 secara elektrokimia pada elektroda BDD yang dimodifikasi dengan material $Ti_3C_2T_x$.
3. Mengetahui pengaruh konsentrasi material $Ti_3C_2T_x$ dan variasi potensial reduksi terhadap reduksi CO_2 secara elektrokimia pada elektroda BDD yang dimodifikasi dengan material $Ti_3C_2T_x$.

1.4. Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan data berupa hasil reduksi elektrokimia CO_2 yang dapat digunakan sebagai dasar untuk aplikasi reduksi CO_2 secara nyata.