

## Conversion of Carbon Dioxide to Ethanol by Electrochemical Synthesis Method Using Brass as A Cathode

Septian Ramadan<sup>a,\*</sup>, Riyanto<sup>a,b,\*\*</sup>

<sup>a</sup> Program Studi Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam,  
Universitas Islam Indonesia.

<sup>b</sup> Program Studi Pendidikan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam,  
Universitas Islam Indonesia.

\*Email : riyanto@uii.ac.id

\*\* Email : 13612072@students.uui.ac.id

### ABSTRACT

The effect of potential and gas flow rate were investigated to determine the optimum conditions of the electrochemical synthesis process to convert carbon dioxide to ethanol. The conversion process is carried out using a  $\text{NaHCO}_3$  electrolyte solution in an electrochemical reactor equipped with a cathode and anode. As cathode is used brass, while as anode is used carbon. The result of the electrochemical synthesis process was analyzed by gas chromatography to determine the content of the compounds produced qualitatively and quantitatively. The optimum electrochemical synthesis conditions to convert carbon dioxide to ethanol are potential and gas flow rate are 3 volts and 0.5 L/minutes with ethanol concentration yielded 1.32%.

**Keywords:** conversion, carbon dioxide, electrochemical synthesis, ethanol, brass, optimum conditions.

### ABSTRAK

Telah dilakukan penelitian tentang pengaruh tegangan dan laju alir gas untuk menentukan kondisi optimum dari proses sintesis elektrokimia untuk mengkonversi karbon dioksida menjadi etanol. Proses konversi dilakukan menggunakan larutan elektrolit  $\text{NaHCO}_3$  di dalam reaktor elektrokimia yang dilengkapi dengan katoda dan anoda. Sebagai katoda digunakan kuningan, sedangkan sebagai anoda digunakan karbon. Hasil dari proses sintesis elektrokimia dianalisis menggunakan kromatografi gas untuk menentukan kandungan senyawa yang dihasilkan secara kualitatif dan kuantitatif. Kondisi optimum proses sintesis elektrokimia untuk mengkonversi karbon dioksida menjadi etanol dari tegangan dan laju alir gas adalah 3 volt dan 0,5 L/menit dengan konsentrasi etanol yang dihasilkan sebesar 1,32%.

**Kata kunci:** konversi, karbon dioksida, sintesis elektrokimia, etanol, kuningan, kondisi optimum.

### Pendahuluan

Energi merupakan salah satu masalah utama yang dihadapi oleh hampir seluruh negara di dunia. Mengingat bahwa energi merupakan salah satu faktor utama

terjadinya pertumbuhan ekonomi suatu negara. Permasalahan energi menjadi semakin kompleks ketika kebutuhan akan energi dari seluruh negara di dunia terus meningkat demi menopang pertumbuhan

ekonominya yang justru membuat persediaan cadangan energi konvensional menjadi semakin sedikit. Kebutuhan yang meningkat terhadap energi pada kenyataannya juga bertentangan dengan kebutuhan umat manusia untuk menciptakan lingkungan yang bersih dan bebas dari polusi karbon dioksida (CO<sub>2</sub>).

Isu global tentang CO<sub>2</sub> juga semakin marak dibicarakan dan dikaji seiring dengan peningkatan jumlah dan dampaknya terhadap iklim dunia. Peningkatan ini dipicu oleh adanya akselerasi pertumbuhan konsumsi energi penghasil CO<sub>2</sub> di seluruh dunia, krisis sumber energi yang berbasis karbon dan rendahnya efisiensi penggunaan energi pada teknologi yang ada. Menurut *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC), sebesar tiga perempat dari kenaikan jumlah CO<sub>2</sub> diudara berkaitan dengan penggunaan bahan bakar berbasis fosil (Metz dkk., 2007).

Kekhawatiran terhadap perubahan iklim dunia tercantum dalam dokumen *Kyoto Protocol* dan *United Nation Framework Convention on Climate Change* (UNFCCC) yang menekankan pentingnya usaha pengurangan emisi CO<sub>2</sub>

serta penyerapannya dari atmosfer. Begitu pula dengan konferensi PBB tentang pembangunan dan lingkungan hidup atau *United Nation Conference on Environment and Development* (UNCED) pada tahun 1992 di Rio Janeiro, Brazil, yang menghasilkan dua deklarasi umum, salah satu diantaranya juga menekankan pada upaya untuk mengurangi perubahan iklim global (Hakim, 2016).

Disebabkan oleh potensi bahaya CO<sub>2</sub> yang tinggi, sangat dibutuhkan penelitian-penelitian yang dapat mengkonversi CO<sub>2</sub> menjadi bentuk senyawa lain yang lebih aman, terlebih lagi senyawa-senyawa yang dapat dimanfaatkan untuk kesejahteraan umat manusia. Saat ini sudah banyak penelitian-penelitian yang mencoba untuk menghasilkan suatu senyawa dengan menggunakan CO<sub>2</sub> sebagai bahan dasarnya. Hal ini merupakan salah satu dari berbagai cara penanggulangan bahaya CO<sub>2</sub> selain dari meminimalisir sumber penghasilnya.

Sintesis senyawa lain yang lebih bermanfaat merupakan solusi jitu untuk pengolahan CO<sub>2</sub>, karena akan memberikan manfaat yang besar dan berkelanjutan.

Selain itu, hal ini juga akan memberikan suatu solusi ganda, yaitu pengurangan jumlah CO<sub>2</sub> sekaligus produksi suatu senyawa yang lebih bermanfaat. Beberapa metode yang telah dilakukan dalam sintesis senyawa-senyawa yang berbasis CO<sub>2</sub> adalah kimia, radiokimia, termokimia, fotokimia, biokimia dan elektrokimia (Kaneco dkk., 2002).

Sintesis alkohol dengan memanfaatkan CO<sub>2</sub> juga merupakan topik yang ramai diperbincangkan. Dari berbagai penelitian yang sudah pernah dilakukan, diketahui bahwa CO<sub>2</sub> sangat berpotensi untuk sintesis energi terbarukan. Produk dari sintesis senyawa berbasis CO<sub>2</sub> yang paling potensial adalah karbon monoksida (CO), asam format (HCOOH), formaldehida (CH<sub>2</sub>O), metanol (CH<sub>3</sub>OH), asam oksalat (H<sub>2</sub>C<sub>2</sub>O<sub>4</sub>), metana (CH<sub>4</sub>), etilen (CH<sub>2</sub>CH<sub>2</sub>) atau etanol (C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>O) (Jones dkk., 2013; Kuhl dkk., 2014).

Cara yang dapat dilakukan untuk mensintesis alkohol dari CO<sub>2</sub> adalah dengan cara elektrokimia. Sintesis alkohol dari CO<sub>2</sub> secara elektrokimia memiliki dua kelebihan utama dibandingkan dengan cara yang lainnya. Kelebihan pertama adalah selektivitas produk yang dihasilkan pada

masing-masing elektroda. Kedua, alat dan bahan yang digunakan sederhana dan ekonomis karena tidak membutuhkan kondisi vakum maupun temperatur yang tinggi (Lee dan Tak, 2001).

Sampai saat ini, optimasi proses sintesis alkohol berbasis CO<sub>2</sub> masih sangat perlu untuk dilakukan. Efisiensi pada proses dan produk yang dituju masih harus ditingkatkan, sehingga didapatkan suatu metode yang lebih efektif dan selektif. Dalam penelitian ini digunakan kuningan sebagai katoda dan karbon sebagai anoda dalam proses sintesis elektrokimia untuk mendapatkan produk target, yaitu etanol.

## **Tujuan**

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh tegangan dan waktu elektrolisis untuk menentukan kondisi optimum dari proses sintesis elektrokimia untuk mengkonversi karbon dioksida menjadi etanol.

## **Metode Penelitian**

### **Alat**

Alat-alat yang digunakan di dalam penelitian ini adalah seperangkat reaktor elektrolisis, seperangkat alat gelas, neraca

analitik, oven Memmert, desikator, *power supply Sanfix SP-303E*, *magnetic heated stirrer HMS-79* dan kromatografi gas BUCK Scientific Model 901.

### **Bahan**

Bahan-bahan yang digunakan di dalam penelitian ini adalah gas CO<sub>2</sub>, elektroda kuningan, elektroda karbon dari batu baterai bekas Panasonic, kertas amplas, akuades, NaHCO<sub>3</sub> Merck dan etanol p.a.

### **Cara Kerja**

#### **Preparasi elektroda**

Plat elektroda kuningan dipotong dengan ukuran 1,5 × 4 cm. Digosok menggunakan kertas amplas hingga kotoran-kotoran pada permukaan elektroda hilang. Dicuci dengan menggunakan akuades hingga bersih dan dikeringkan. Sedangkan elektroda karbon yang digunakan dalam penelitian ini adalah elektroda karbon yang berasal dari batu baterai bekas. Elektroda karbon terlebih dahulu dicuci menggunakan akuades hingga bersih. Dioven selama 3 jam pada suhu 110 °C untuk menghilangkan

kandungan air, kemudian didinginkan di dalam desikator.

#### **Pengaruh tegangan**

Diambil sebanyak 50 mL larutan elektrolit NaHCO<sub>3</sub> 0,1 M dan dimasukkan ke dalam reaktor elektrolisis. Plat elektroda kuningan (katoda) dan batang elektroda karbon (anoda) dimasukkan ke dalam reaktor elektrolisis. Dialirkan gas CO<sub>2</sub> ke dalam reaktor elektrolisis dengan laju alir 1 L/menit. Dialirkan tegangan sebesar 1, 3, 5 dan 7 volt dengan waktu elektrolisis 90 menit. Diambil larutan hasil elektrolisis dan dianalisis menggunakan kromatografi gas.

#### **Pengaruh laju alir gas CO<sub>2</sub>**

Diambil sebanyak 50 mL larutan elektrolit NaHCO<sub>3</sub> 0,1 M dan dimasukkan ke dalam reaktor elektrolisis. Plat elektroda kuningan (katoda) dan batang elektroda karbon (anoda) dimasukkan ke dalam reaktor elektrolisis. Dialirkan gas CO<sub>2</sub> ke dalam reaktor elektrolisis dengan laju alir 0,5; 1; 1,5 dan 2 L/menit. Dialirkan tegangan sebesar tegangan optimum dengan waktu elektrolisis 90 menit.

Diambil larutan hasil elektrolisis dan dianalisis menggunakan kromatografi gas.

### **Analisis etanol standar**

Diambil sebanyak 5 mL larutan etanol p.a. 1% standar. Dilakukan analisis menggunakan kromatografi gas.

### **Pembahasan**

Penelitian ini bertujuan untuk mengkonversi karbon dioksida ( $\text{CO}_2$ ) menjadi etanol menggunakan teknik sintesis elektrokimia (*electrochemical synthesis*). Proses konversi dilakukan di dalam larutan elektrolit natrium bikarbonat ( $\text{NaHCO}_3$ ) pada reaktor elektrokimia yang dilengkapi dengan katoda dan anoda. Sebagai katoda digunakan kuningan, sedangkan sebagai anoda digunakan karbon dari batu baterai bekas. Katoda merupakan tempat berlangsungnya proses konversi  $\text{CO}_2$  menjadi etanol (reaksi reduksi), sedangkan anoda merupakan tempat berlangsungnya reaksi oksidasi air sebagai sumber aliran elektron.

Pada penelitian ini dilakukan variasi tegangan dan laju alir gas  $\text{CO}_2$  untuk mengetahui kondisi sintesis elektrokimia yang paling optimum untuk

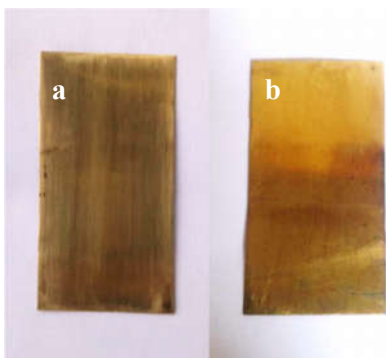
mengkonversi  $\text{CO}_2$  menjadi etanol pada elektroda kuningan. Hasil proses sintesis elektrokimia yang berupa larutan dianalisis menggunakan kromatografi gas dengan *Flame Ionization Detector* (FID) untuk mengetahui kandungan senyawa yang dihasilkan secara kualitatif dan kuantitatif.

### **Pengamatan pada elektroda**

Sebelum digunakan elektroda kuningan digosok menggunakan kertas amplas hingga kotoran-kotoran pada permukaan elektroda hilang kemudian dicuci dengan menggunakan akuades. Preparasi ini bertujuan untuk membersihkan permukaan elektroda dari pengotor-pengotor logam atau oksida logam yang menutupi sisi aktif dari elektroda kuningan. Apabila sisi aktif dari elektroda kuningan baik, maka akan meningkatkan efisiensi pembentukan senyawa di dalam proses sintesis elektrokimia.

Beberapa penelitian tentang konversi  $\text{CO}_2$  menjadi senyawa lain menggunakan teknik sintesis elektrokimia menunjukkan bahwa jenis elektroda dan teknik preparasinya sangat mempengaruhi hasil yang akan didapatkan. Salah satu

elektroda yang biasa digunakan untuk mengkonversi CO<sub>2</sub> menjadi etanol adalah tembaga atau campuran antara tembaga dengan logam lainnya. Hasil penelitian Yang dkk. (2016) menunjukkan bahwa campuran antara tembaga dengan logam lainnya memiliki aktivitas katalitik yang lebih besar dibandingkan dengan logam tembaga murni dalam mengkonversi CO<sub>2</sub> menjadi alkohol. Oleh sebab itu, pada penelitian ini digunakan kuningan sebagai katoda yang merupakan tempat berlangsungnya proses konversi CO<sub>2</sub> menjadi etanol.



**Gambar 1.** Permukaan Plat Elektroda Kuningan (a) Sebelum Proses Sintesis Elektrokimia dan (b) Sesudah Proses Sintesis Elektrokimia

Pada Gambar 1 terlihat perbedaan antara plat elektroda kuningan sebelum dan sesudah digunakan dalam proses sintesis elektrokimia. Gambar 1a merupakan

elektroda kuningan yang sudah dipreparasi dan belum digunakan untuk proses sintesis elektrokimia. Sedangkan Gambar 1b merupakan elektroda kuningan yang sudah digunakan untuk proses sintesis elektrokimia selama 90 menit. Perubahan pada permukaan elektroda kuningan terjadi dengan terbentuknya lapisan berwarna hitam yang disebut bunga karang (*sponge*). Lapisan bunga karang ini semakin terlihat dengan jelas ketika elektroda kuningan dikeringkan di udara.

Menurut Lee dan Tak (2001), terbentuknya lapisan bunga karang disebabkan oleh logam pengotor yang terdapat di dalam larutan elektrolit menempel pada permukaan elektroda kuningan sehingga menyebabkan terjadinya deaktivasi atau *poisoning* yang dapat meracuni aktivitas elektrokatalitik elektroda kuningan. Selain itu, deaktivasi elektroda kuningan juga dapat disebabkan oleh adanya endapan karbon yang menempel pada permukaan elektroda kuningan. Karbon tersebut merupakan produk samping yang dihasilkan dari reduksi CO<sub>2</sub>.

Karbon merupakan elektroda yang bersifat inert, sehingga tidak ikut bereaksi

ketika digunakan sebagai anoda dalam proses sintesis elektrokimia. Oleh sebab itu, pada penelitian ini digunakan karbon sebagai anoda yang merupakan tempat berlangsungnya reaksi oksidasi air. Sifat karbon yang inert menyebabkan karbon tidak mengalami kerusakan selama pemakaian dalam proses sintesis elektrokimia. Karena karbon bersifat inert dan anion bikarbonat ( $\text{HCO}_3^-$ ) tidak mengalami oksidasi di dalam pelarut air, maka sebagai gantinya air mengalami oksidasi dan menjadi sumber penghasil proton dan elektron. Hal ini akan mendukung proses pembentukan etanol pada katoda, karena menurut Yang dkk. (2016) mekanisme reaksi pembentukan etanol pada katoda melibatkan proton dan transfer elektron.

Hasil penelitian Afiati (2016) menunjukkan bahwa elektroda karbon yang sudah diaktivasi dapat meningkatkan kuantitas etanol yang akan didapatkan. Elektroda karbon yang sudah diaktivasi memiliki ukuran pori-pori yang lebih besar, sehingga luas permukaan sentuh juga lebih besar. Oleh sebab itu, elektroda karbon yang digunakan pada penelitian ini diaktivasi terlebih dahulu. Aktivasi

elektroda karbon dilakukan dengan cara dicuci menggunakan akuades hingga bersih, dioven selama 3 jam pada suhu  $110^\circ\text{C}$  untuk menghilangkan kandungan air, kemudian didinginkan di dalam desikator.

### **Hasil sintesis elektrokimia etanol dari $\text{CO}_2$**

Kromatogram pada waktu tambat (waktu retensi) tertentu dapat dimanfaatkan untuk analisis kualitatif, sementara itu luas puncak (luas area) dapat digunakan sebagai data kuantitatif yang keduanya telah dibandingkan dengan senyawa baku atau standar (Rohman dan Gandjar, 2007). Puncak dengan waktu retensi yang berdekatan atau sama menunjukkan senyawa yang sama. Sehingga ada atau tidaknya etanol yang terbentuk dari hasil sintesis elektrokimia (analisis kualitatif) dapat dibuktikan dengan membandingkan antara waktu retensi sampel dengan waktu retensi etanol standar. Sedangkan konsentrasi etanol yang terbentuk dari hasil sintesis elektrokimia (analisis kuantitatif) dapat dibuktikan dengan membandingkan antara luas area sampel dengan luas area etanol standar dengan persamaan:

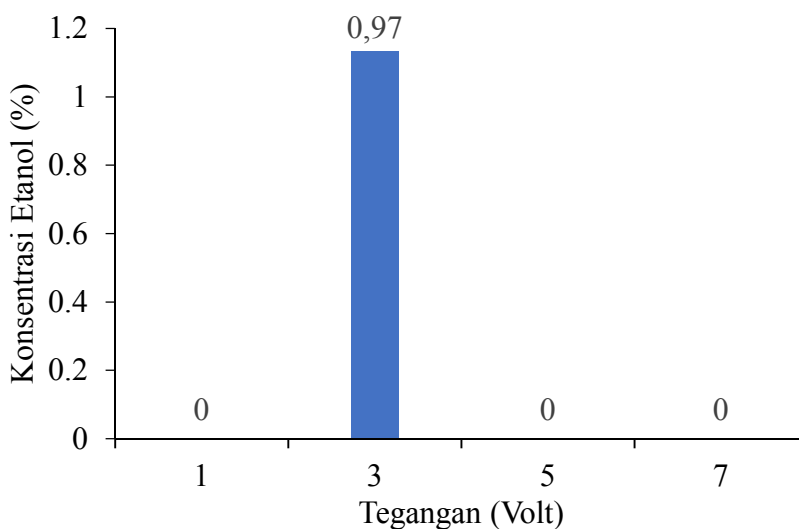
*Konsentrasi etanol sampel (%)*

$$= \frac{\text{Luas area etanol sampel}}{\text{Luas area etanol standar}} \times \text{Konsentrasi etanol standar (\%)}$$

### Pengaruh tegangan

Keberhasilan proses sintesis elektrokimia sangat dipengaruhi oleh tegangan yang dialirkan. Proses konversi CO<sub>2</sub> menjadi etanol akan terjadi dengan sempurna apabila tegangan yang dialirkan sesuai, sehingga akan terbentuk produk target yang diharapkan. Reaksi yang terjadi pada katoda (reaksi reduksi) akan menghasilkan produk yang berbeda apabila tegangan yang dialirkan juga berbeda. Pada penelitian ini tegangan yang dialirkan divariasikan menjadi 1, 3, 5 dan 7 volt, kemudian dipelajari tegangan yang paling optimum untuk menghasilkan etanol.

Reduksi CO<sub>2</sub> menjadi etanol merupakan reaksi yang tidak spontan ( $E^\ominus = \text{negatif}$ ), dimana dibutuhkan sumber tegangan dari luar yang berasal dari *power supply*. Proses sintesis elektrokimia yang dilakukan pada penelitian ini menggunakan tegangan tetap, sehingga kondisi arus yang stabil atau tetap tidak terlalu diperhatikan. Hal ini akan mempermudah dalam menentukan tegangan yang paling optimum untuk mengkonversi CO<sub>2</sub> menjadi etanol menggunakan teknik sintesis elektrokimia apabila digunakan waktu elektrolisis, konsentrasi larutan NaHCO<sub>3</sub> dan volume alir gas CO<sub>2</sub> yang berbeda.



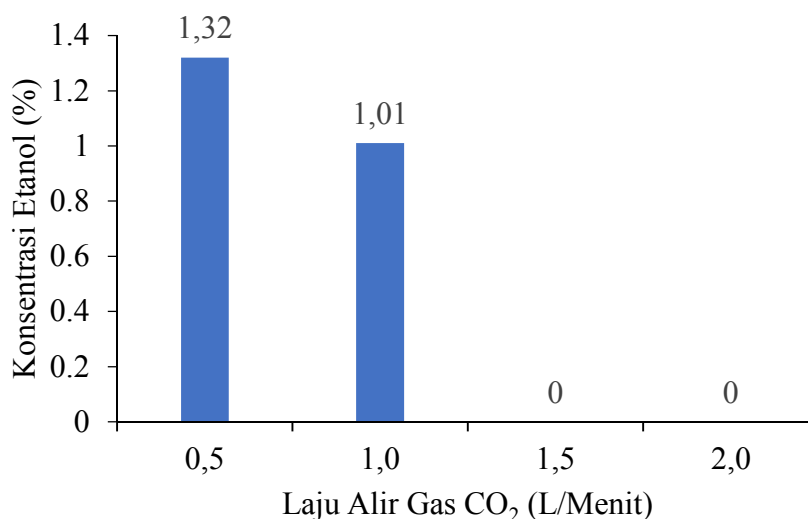
**Gambar 2.** Diagram Konsentrasi Etanol (%) pada Tegangan 1-7 Volt



Gambar 2 menunjukkan konsentrasi etanol (%) yang diperoleh pada tegangan 1-7 volt. Diketahui bahwa etanol hanya terbentuk pada tegangan 3 volt dan tidak ada etanol yang terdeteksi pada aliran tegangan lain. Hal ini menunjukkan bahwa tegangan yang dibutuhkan untuk mengkonversi  $\text{CO}_2$  menjadi etanol sangat spesifik. Sehingga dapat ditentukan bahwa tegangan yang paling optimum adalah 3 volt dengan dengan konsentrasi etanol yang dihasilkan sebesar 0,97%.

### Pengaruh laju alir gas $\text{CO}_2$

Secara teori, apabila semakin banyak kuantitas  $\text{CO}_2$  yang dialirkan, maka akan semakin banyak  $\text{CO}_2$  yang akan dikonversi menjadi etanol sehingga produk etanol yang akan terbentuk juga akan semakin banyak. Laju alir  $\text{CO}_2$  yang diberikan harus diperhatikan karena akan dapat mempengaruhi hasil dari produk sintesis elektrokimia. Pada penelitian ini laju alir  $\text{CO}_2$  divariasikan menjadi 0,5; 1; 1,5 dan 2 L/menit, kemudian dipelajari laju alir  $\text{CO}_2$  yang paling optimum untuk menghasilkan etanol.



**Gambar 3.** Diagram Konsentrasi Etanol (%) pada Laju Alir  $\text{CO}_2$  0,5-2 L/Menit

Gambar 3 menunjukkan konsentrasi etanol (%) yang diperoleh pada pada laju alir  $\text{CO}_2$  0,5-2 L/menit. Diketahui bahwa

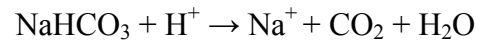
etanol terbentuk pada laju alir  $\text{CO}_2$  0,5 L/menit kemudian mengalami penurunan ketika laju alir  $\text{CO}_2$  ditingkatkan menjadi 1

*Conversion of Carbon Dioxide to Ethanol by Electrochemical Synthesis Method Using Brass as A Cathode*

L/menit. Tidak ada etanol yang terdeteksi ketika laju alir CO<sub>2</sub> ditingkatkan lagi menjadi 1,5 dan 2 L/menit. Pada Gambar 3 ditunjukkan bahwa laju alir CO<sub>2</sub> yang paling optimum adalah 0,5 L/menit dengan konsentrasi etanol yang dihasilkan sebesar 1,32%.

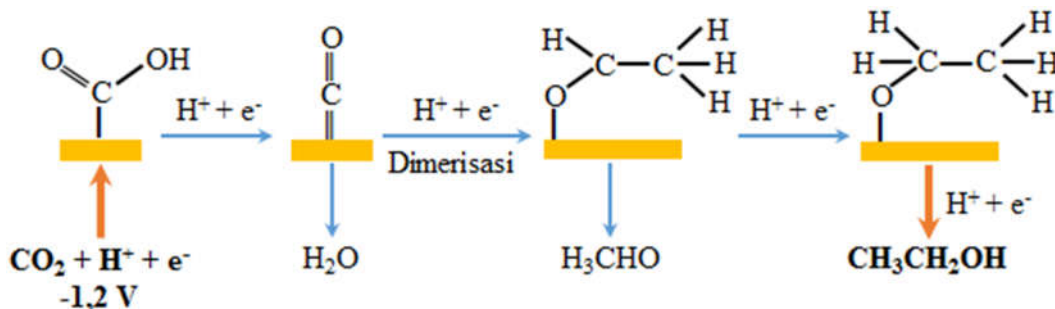
Kelarutan CO<sub>2</sub> di dalam air hanya 0,033 mM. Di dalam air CO<sub>2</sub> membentuk kesetimbangan menjadi H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, namun hanya 1% CO<sub>2</sub> yang terlarut dalam bentuk H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> (Fitriani, 2012). Hal ini memungkinkan menjadi sebab etanol tidak terbentuk ketika laju alir CO<sub>2</sub> ditingkatkan. Ketika laju alir CO<sub>2</sub> ditingkatkan akan menyebabkan gelembung CO<sub>2</sub> di dalam reaktor elektrolisis semakin banyak. Gelembung gas CO<sub>2</sub> yang terlalu banyak akan mempengaruhi faktor pengadukan sehingga mempengaruhi hasil sintesis elektrokimia.

Meskipun kuantitas CO<sub>2</sub> yang dialirkan semakin banyak, namun pada kenyataannya tidak semua CO<sub>2</sub> larut di dalam larutan elektrolit NaHCO<sub>3</sub> untuk selanjutnya dikonversi menjadi etanol. Selain itu, larutan elektrolit NaHCO<sub>3</sub> juga merupakan senyawa yang mudah larut dalam air dan bereaksi dengan senyawa lain menghasilkan CO<sub>2</sub>. Reaksi NaHCO<sub>3</sub> dalam menghasilkan gas CO<sub>2</sub> adalah sebagai berikut (Ratna, 2008):



### Proses Pembentukan Etanol pada Elektroda Kuningan

Sampai saat ini mekanisme reaksi pembentukan etanol pada katoda yang terjadi selama proses sintesis elektrokimia tidak diketahui dengan pasti. Namun jalur reaksi yang paling diusulkan dalam penelitian ini adalah seperti yang dijelaskan oleh Yang dkk. (2016).



**Gambar 4.** Jalur Reaksi Pembentukan Etanol dalam Sintesis Elektrokimia (Yang dkk., 2016)

*Conversion of Carbon Dioxide to Ethanol by Electrochemical Synthesis Method Using Brass as A Cathode*

95

(Septian Ramadan, Riyanto)

Pada Gambar 4 dijelaskan bahwa mekanisme reaksi pembentukan etanol pada katoda melibatkan proton dan transfer elektron untuk membentuk \*COOH pada permukaan katoda dalam beberapa langkah pertama. Kemudian \*COOH terhidrogenasi sehingga melepaskan H<sub>2</sub>O dan mengadsorpsi \*CO. Spesies \*CO yang teradsorpsi tersebut selanjutnya dapat mengalami dimerisasi dan hidrogenasi menjadi \*CH<sub>3</sub>CHO. Produk intermediet ini selanjutnya akan mengalami reaksi reduksi sehingga membentuk etanol (Yang dkk., 2016).

### Kesimpulan

Karbon dioksida dapat dikonversi menjadi etanol dengan teknik sintesis elektrokimia menggunakan elektroda kuningan. Kondisi optimum untuk mengkonversi karbon dioksida menjadi etanol menggunakan teknik sintesis elektrokimia dari tegangan dan laju alir CO<sub>2</sub> adalah 3 volt dan 0,5 L/menit dengan konsentrasi etanol yang dihasilkan sebesar 1,32%.

### Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Kementerian Riset Teknologi dan Pendidikan Tinggi Republik Indonesia dan Rektor Universitas Islam Indonesia Yogyakarta yang telah memberikan dukungan pendanaan penelitian ini melalui Program Kreativitas Mahasiswa Penelitian Eksakta tahun anggaran 2016.

### Pustaka

- Afiati, A.A., 2016, Elektrosintesis Etanol dari Gas Karbon Dioksida (CO<sub>2</sub> dengan Menggunakan Elektroda Karbon, *Skripsi*, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.
- Fitriani, S., 2012, Studi Reaksi Reduksi CO<sub>2</sub> dengan Metode Elektrokimia Menggunakan Elektroda Cu, *Skripsi*, Universitas Indonesia, Depok.
- Hakim, S., 2015, Studi Konversi Karbondioksida (CO<sub>2</sub>) Menjadi Metanol Menggunakan Elektroda Tembaga (Cu) dengan Teknik Reduksi Elektrokimia (*Electrochemical Reduction*), *Skripsi*, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.
- Jones, C., Robertson, E., Arora, V., Friedlingstein, P., Shevliakova, E., Bopp, L., Brovkin, V., Hajima, T., Kato, E., Kawamiya, M., Liddicoat, S., Lindsay, K.,

- Reick, C.H., Roelandt, C., Segsneider, J., Tjiputra, J., 2013, Twenty-First Century Compatible CO<sub>2</sub> Emissions and Airborne Fraction Simulated by CMIP5 Earth System Models under Four Representative Concentration Pathways, DOI: 10.1175/JCLI-D-1200554.1.
- Kaneco, S., Iiba, K., Hiei, N.H., Ohta, K., Mizuno, T., Suzuki, T., 2002, Electrochemical Reduction of Carbon Dioxide to Ethylene with High Faradaic Efficiency at a Cu Electrode in CsOH/Methanol, *Electrochimica Acta*, (44):26, 4701-4706.
- Kuhl, K.P., Hatsukade, T., Cave, E.R., Abram, D.N., Kibsgaard, J., Jaramillo, T.F., 2014, Electrocatalytic Conversion of Carbon Dioxide to Methane and Methanol on Transition Metal Surfaces, *J. Am. Chem. Soc.*, 2014, 136 (40), pp 14107–14113.
- Lee, J.A. dan Tak, T., 2001, Electrocatalytic Activity of Cu Electrode in Electroreduction of CO<sub>2</sub>. *Electrochimica*. 46: 3015-3022.
- Metz, B., Davidson, O.R., Bosch, P.R., Dave, R., Meyer, L. A., 2007, *Climate change 2007: Mitigation Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press, Cambridge UK and New York, USA.
- Ratna, 2008, Pengaruh Bahan Pengembang pada Wafer, *Laporan Kerja Praktik*, Universitas Katolik Widya Mandala, Surabaya.
- Rohman, A. dan Gandjar, G.H., 2007, *Kimia Farmasi Analisis*, Pustaka Pelajar, Yogyakarta.
- Yang, H.P., Yue, Y.N., Qin, S., Wang, H., Lu, J.X., 2016, Selective Electrochemical Reduction of CO<sub>2</sub> to Different Alcohol Products by an Organically Doped Alloy Catalyst, DOI: 10.1039/c6gc00091f.