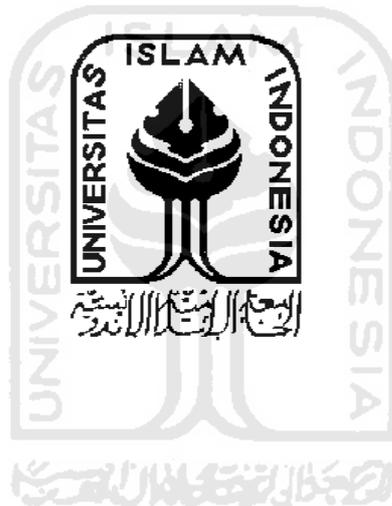


**ELEKTROSINTESIS ETANOL DARI GAS KARBON  
DIOKSIDA (CO<sub>2</sub>) DENGAN MENGGUNAKAN KATODA  
TEMBAGA (Cu) DAN ANODA KARBON (C)**

**SKRIPSI**

Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat mencapai  
gelar Sarjana Sains (S.Si) pada Program Studi Kimia  
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Universitas Islam Indonesia  
Yogyakarta



disusun oleh:

**TITIS ARINI AFIATI**

**No. Mahasiswa: 13612057**

**PROGRAM STUDI KIMIA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA  
YOGYAKARTA  
2016**

**ELEKTROSINTESIS ETANOL DARI GAS KARBON  
DIOKSIDA (CO<sub>2</sub>) DENGAN MENGGUNAKAN KATODA  
TEMBAGA (Cu) DAN ANODA KARBON (C)**

oleh:

**TITIS ARINI AFIATI**

**No. Mahasiswa: 13612057**

Telah dipertahankan dihadapan Panitia Ujian Skripsi  
Program Studi Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Universitas Islam Indonesia

Tanggal: 20 Desember 2016

Dewan Penguji

1. Prof. Riyanto, M.Si., Ph.D.
2. Wiyogo Prio Wicaksono, M.Si.
3. Mai Anugrahwati, M.Sc.

Tanda tangan



الجامعة الإسلامية  
INDONESIA

Mengetahui  
Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Universitas Islam Indonesia



(Drs. Allwar, M.Sc., Ph.D.)

## SURAT PERNYATAAN BEBAS PLAGIAT

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Titis Arini Afiati

NIM : 13612057

Fakultas/Jurusan : MIPA/Kimia

dengan ini menyatakan bahwa judul skripsi “Elektrosintesis Etanol dari Gas Karbon Dioksida (CO<sub>2</sub>) dengan Menggunakan Katoda Tembaga (Cu) dan Anoda Karbon (C)” benar bebas dari plagiat, dan apabila pernyataan ini terbukti tidak benar maka saya bersedia menerima sanksi sesuai ketentuan yang berlaku.

Demikian surat pernyataan ini saya buat untuk dipergunakan sebagaimana mestinya.

Yogyakarta, 21 Desember 2016

Yang membuat pernyataan,



Titis Arini Afiati

*Saya persembahkan salah satu hasil karya terbesar ini kepada kedua orang tua saya Bapak H.Nur Chafid dan Ibu Hj.Suci Hartati, serta dosen pembimbing saya Bapak Prof. Riyanto, Ph.D.*



## KATA PENGANTAR



Segala puji dan syukur ke hadirat Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya kepada kita semua. Shalawat dan salam teruntuk Rasulullah Muhammad SAW beserta keluarga, sahabat, serta para pengikutnya yang telah berjuang mengantarkan umat ini menuju keadaan yang lebih baik dan jalan yang diridhoi oleh Allah SWT.

Terselesainya skripsi yang berjudul, “Elektrosintesis Etanol dari Gas Karbon Dioksida ( $\text{CO}_2$ ) dengan Menggunakan Katoda Tembaga (Cu) dan Anoda Karbon (C)” ini, tentu tidak lepas dari bantuan segala pihak yang secara langsung ataupun tak langsung telah memberikan dorongan moral maupun material sehingga penulis dapat memulai, mengerjakan, hingga menyelesaikan skripsi ini dengan tepat waktu. Untuk itu, penulis menyampaikan terima kasih kepada:

1. Allah SWT yang selalu mendengarkan do'a dan memberikan segala kemudahan serta ridho-Nya hingga terselesainya skripsi ini.
2. Orang tua dan keluarga yang selalu mendukung segala kegiatan penulis untuk menjadi orang yang berguna bagi bangsa dan negara tercinta Indonesia.
3. Bapak Drs. Allwar, M.Sc., Ph.D., selaku Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam yang sangat mendukung dan memberikan kepercayaan penuh demi tercapainya mahasiswa yang unggul.
4. Ibu Dr. Is Fatimah, selaku Ketua Prodi Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam dan Dosen Pembimbing Akademik yang

memberikan bimbingan dan motivasi untuk menjadi mahasiswa yang mempunyai karakter.

5. Bapak Prof. Riyanto, Ph.D., selaku dosen pembimbing yang telah berkenan menyediakan waktu dan pikiran untuk mendiskusikan topik yang penulis angkat, serta selalu memberikan semangat dan optimismenya dalam kegiatan penelitian ini.
6. Lusi Sofia dan M.Thareq Kemal selaku "*Partner In Crime*" yang tidak pernah berhenti memotivasi penulis untuk melakukan hal yang lebih baik.
7. Keluarga Cemara Squad yang tidak pernah letih memberikan semangat dan motivasi hingga terselesaikannya studi S1 ini.
8. Dosen Universitas Islam Indonesia khususnya dosen Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam yang tidak pernah lelah berusaha menjadikan penulis sebagai mahasiswa yang berpikir kritis dan kreatif.
9. Teman-teman seperjuangan Prodi Kimia angkatan 2013 yang telah banyak menciptakan kenangan yang tidak dapat dilupakan.
10. Seluruh pihak yang telah berkontribusi bagi terselesaikannya laporan ini.

Akhirnya, tiada kata yang dapat kami sampaikan kecuali panjatan do'a, semoga Allah memberikan balasan yang lebih baik. Amin.

Yogyakarta, 10 November 2016

Penulis,

Titis Arini Afiati

13612057

## DAFTAR ISI

Halaman Judul.....	i
Halaman Pengesahan .....	ii
Halaman Persembahan .....	iii
Halaman Pernyataan Bebas Plagiat .....	iv
Kata Pengantar .....	v
Daftar Isi.....	vii
Daftar Tabel .....	x
Daftar Gambar.....	xi
Intisari .....	xiii
Abstrak .....	xiv
<b>BAB I PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	4
1.4 Manfaat Penelitian.....	4
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....</b>	<b>5</b>
<b>BAB III DASAR TEORI .....</b>	<b>11</b>
3.1 Karbon dioksida .....	11
3.2 Elektrokimia .....	17
3.3 Elektroreduksi (Reduksi Elektrokimia).....	17
3.4 Kromatografi Gas (KG).....	21

BAB IV METODE PENELITIAN .....	25
4.1 Desain Penelitian .....	25
4.2 Alat dan Bahan Penelitian .....	25
4.2.1 Alat-alat yang digunakan .....	25
4.2.2 Bahan-bahan yang digunakan .....	26
4.3 Cara Kerja.....	26
4.3.1 Preparasi Elektroda .....	26
4.3.2 Pengaruh Waktu Elektrolisis Terhadap Konsentrasi Etanol.....	26
4.3.3 Pengaruh Potensial Terhadap Konsentrasi Etanol .....	27
4.3.4 Pengaruh Laju alir Gas CO <sub>2</sub> Terhadap Konsentrasi Etanol.....	27
4.3.2 Pengaruh Konsentrasi Larutan Elektrolit Terhadap Konsentrasi Etanol.....	27
BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN.....	28
5.1 Pengaruh Waktu Elektrolisis Terhadap Konsentrasi Etanol dari Reduksi Elektrokimia CO <sub>2</sub> .....	29
5.2 Pengaruh Potensial Terhadap Konsentrasi Etanol dari Reduksi Elektrokimia CO <sub>2</sub> .....	35
5.3 Pengaruh Laju Alir CO <sub>2</sub> Terhadap Konsentrasi Etanol dari Reduksi Elektrokimia CO <sub>2</sub> .....	39
5.4 Pengaruh Konsentrasi Larutan Elektrolit NaHCO <sub>3</sub> Terhadap Etanol dari Reduksi Elektrokimia CO <sub>2</sub> .....	42
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN .....	49
6.1 Kesimpulan.....	49

6.2 Saran.....	49
DAFTAR PUSTAKA .....	51
Lampiran 1. Penentuan konsentrasi etanol yang dihasilkan .....	56
Lampiran 2. Kromatogram hasil reduksi elektrokimia CO <sub>2</sub> .....	60



## DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Sifat-sifat fisik CO <sub>2</sub> (scibioh dan viswanathan, 2004).....	12
Tabel 3.2 Hasil reduksi CO <sub>2</sub> pada beberapa logam sp dan d .....	15



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1 Reduksi CO <sub>2</sub> menghasilkan produk penting bagi industri .....	13
Gambar 3.2 Jalur reaksi reduksi elektrokimia CO <sub>2</sub> dengan produk a) CH <sub>4</sub> (---▶), CH <sub>3</sub> OH (---▶), HCOO <sup>-</sup> (—▶); b) etilena (—▶) dan etanol (.....▶); c) asam format (—▶▶) .....	16
Gambar 3.3 Skema alat kromatografi gas (Mcnair and miller, 2009) .....	23
Gambar 4.1 Rancangan bentuk reaktor untuk reduksi elektrokimia CO <sub>2</sub> .....	25
Gambar 5.1 Kromatogram etanol standar 1% .....	30
Gambar 5.2 Kromatogram sampel dengan waktu elektrolisis 120 menit (non- aktivasi) .....	31
Gambar 5.3 Kromatogram standar etanol 1% .....	32
Gambar 5.4 Kromatogram sampel dengan variasi waktu elektrolisis 60 menit (aktivasi) .....	32
Gambar 5.5 Kromatogram sampel dengan variasi waktu elektrolisis 60 menit (aktivasi) + standar etanol 1% .....	33
Gambar 5.6 Grafik hasil etanol pada variasi waktu elektrolisis (non-aktivasi) .....	33
Gambar 5.7 Grafik hasil etanol pada variasi waktu elektrolisis (aktivasi) .....	34
Gambar 5.8 Kromatogram standar etanol 0,1% .....	36
Gambar 5.9 Kromatogram sampel dengan potensial 3 volt .....	37
Gambar 5.10 Grafik hasil etanol pada variasi potensial .....	38
Gambar 5.11 Skema umum reduksi CO <sub>2</sub> .....	39
Gambar 5.12 Kromatogram standar etanol 1% .....	40
Gambar 5.13 Kromatogram sampel dengan laju alir CO <sub>2</sub> 2 L/menit .....	41

Gambar 5.14 Kromatogram sampel dengan laju alir CO <sub>2</sub> 2 L/menit + standar etanol 1% .....	41
Gambar 5.15 grafik hasil etanol pada variasi laju alir CO <sub>2</sub> .....	42
Gambar 5.16 Kromatogram etanol standar 1% .....	44
Gambar 5.17 Kromatogram sampel dengan konsentrasi larutan NaHCO <sub>3</sub> 0,05M	45
Gambar 5.18 Kromatogram sampel dengan konsentrasi larutan NaHCO <sub>3</sub> 0,05M + standar etanol 1% .....	45
Gambar 5.19 Grafik hasil etanol pada variasi konsentrasi NaHCO <sub>3</sub> .....	46



# ELEKTROSINTESIS ETANOL DARI GAS KARBON DIOKSIDA (CO<sub>2</sub>) DENGAN MENGGUNAKAN KATODA TEMBAGA (Cu) DAN ANODA KARBON (C)

TITIS ARINI AFIATI

No. Mahasiswa: 13612057

## INTISARI

Telah dilakukan penelitian tentang elektrosintesis etanol (C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH) dari gas karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) dengan menggunakan katoda tembaga (Cu) dan anoda karbon (C). Elektrosintesis dilakukan dengan variasi waktu elektrolisis, potensial, laju alir CO<sub>2</sub> dan konsentrasi larutan elektrolit NaHCO<sub>3</sub>. Produk yang dihasilkan dianalisis menggunakan Kromatografi Gas (KG) dengan metode *spike*. Konsentrasi etanol optimal diperoleh ketika waktu elektrolisis 60 menit dengan elektroda karbon aktivasi (1,01%) , potensial 3 volt (0,14%), laju alir CO<sub>2</sub> 2L/menit (1,73%) dan konsentrasi larutan NaHCO<sub>3</sub> 0,05 M (0,39%). Konsentrasi etanol yang diperoleh sangat kecil karena pada penelitian ini tidak dilakukan pemurnian atau pemisahan etanol dari produk yang dihasilkan. Pada masing-masing variasi tersebut banyak yang tidak terdeteksi adanya etanol, hal tersebut dikarenakan *over reduction* sehingga etanol yang diperoleh telah berubah menjadi produk lain.

Kata Kunci: Elektrosintesis etanol, gas CO<sub>2</sub>, elektroda tembaga, NaHCO<sub>3</sub>

# **ELECTROSYNTHESIS OF ETHANOL FROM CARBON DIOXIDE GAS (CO<sub>2</sub>) USING COPPER (Cu) CATHODE AND CARBON (C) ANODE**

**TITIS ARINI AFIATI**

**No. Mahasiswa: 13612057**

## **ABSTRACT**

Electrosynthesis of ethanol (C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH) from carbon dioxide gas (CO<sub>2</sub>) using copper (Cu) cathode and carbon (C) anode was investigated. Electrosynthesis was conducted by variation of electrolysis time, potential, CO<sub>2</sub> flow rate and concentration of NaHCO<sub>3</sub> as electrolyte solution. The electrosynthesis products were analyzed by Gas Chromatography (GC) with a spike method. The optimum result showed that ethanol concentration has obtained in 60 minutes electrolysis time on activated carbon electrode (1,01%), 3 volts potential (0,14%), CO<sub>2</sub> flow rate 2L/min (1,73%), and 0,05 M of NaHCO<sub>3</sub> concentration (0,38956%). The concentration of ethanol was obtained very small due to the studied was not conducted purification or separation of ethanol from the resulting product. Rest of these variations were not obtained ethanol due to over reduction led to formation of another product.

Keywords: electrosynthesis ethanol, gas CO<sub>2</sub>, electrode copper, NaHCO<sub>3</sub>

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) merupakan komponen penyusun atmosfer yang sangat melimpah. Sejak revolusi industri, kadar gas CO<sub>2</sub> di atmosfer meningkat hingga 379 ppm. Kelimpahan gas CO<sub>2</sub> merupakan salah satu penyumbang utama aktivitas gas rumah kaca di atmosfer bumi. Gas karbon dioksida tersebut berasal dari alam sebesar 10% dan dari bahan bakar fosil dan proses industri sebesar 64% (Ruri dalam Fitriani, 2012). Konsentrasi karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) di udara semakin meningkat, sehingga memberikan efek negatif terhadap lingkungan. Secara umum CO<sub>2</sub> di udara berasal dari pembakaran hutan, listrik berbahan bakar batu bara, industri, transportasi, alat pemanas dan pendingin, kegiatan memasak dan aktifitas manusia lain.

Konsentrasi CO<sub>2</sub> yang tinggi akan mengakibatkan kenaikan temperatur global dan perubahan iklim (*global warming*). Perubahan iklim yang drastis akan mengakibatkan bencana alam (banjir, kenaikan suhu ekstrem, berbagai penyakit, tanah longsor), perubahan musim, perubahan arah angin, pencemaran dan ekosistem. Potensi CO<sub>2</sub> yang tinggi di udara dan efek yang sangat berbahaya, maka penelitian untuk mengkonversi menjadi senyawa yang bermanfaat sangat perlu untuk dilakukan. Teknik untuk mengkonversi harus mempunyai ciri-ciri yaitu hemat energi, tidak menghasilkan limbah, efisien dan mudah dioperasikan.

Beberapa metode telah dilakukan untuk mengkonversi CO<sub>2</sub>. Konversi CO<sub>2</sub> dapat dilakukan dengan menggunakan metode radiokimia, kimia, termokimia, fotokimia, biokimia dan elektrokimia (Kaneco *et al.*, 2002). Konversi CO<sub>2</sub> dengan metode elektrokimia secara reduksi memiliki dua kelebihan utama dibandingkan cara lainnya yaitu selektivitas produk yang dihasilkan pada katoda akan berbeda-beda dan bahan yang digunakan sederhana dan ekonomis karena tidak membutuhkan kondisi vakum maupun temperatur yang tinggi (Lee *et al.*, 2001).

Beberapa literatur menyatakan bahwa reduksi elektrokimia CO<sub>2</sub> sangat bergantung pada elektroda yang digunakan, kondisi reaksi, komposisi, konsentrasi serta pH larutan elektrolit (Scibioh dan Viswanathan, 2004). Studi untuk mengembangkan reduksi elektrokimia CO<sub>2</sub> telah banyak dilakukan dengan menggunakan elektroda Cu dan larutan elektrolit KHCO<sub>3</sub> 0,5 M dengan metode QCM (*Quartz Crystal Microbalance*) dihasilkan produk CH<sub>4</sub> dan C<sub>2</sub>H<sub>2</sub> (Lee *et al.*, 2001). Reduksi elektrokimia CO<sub>2</sub> dengan larutan elektrolit NaHCO<sub>3</sub> 0,65 M telah menghasilkan efisiensi 42,5% untuk pembentukan CH<sub>4</sub> (Kaneco *et al.*, 1999). Pangestu (2015) juga telah melakukan reduksi elektrokimia dengan elektroda karbon (C) menghasilkan propanol.

Penelitian yang telah dilakukan tersebut menunjukkan masih banyak kelemahan terutama pada efisiensi proses dan produk yang dihasilkan maka penelitian untuk melakukan optimasi elektoreduksi CO<sub>2</sub> menjadi produk yang lebih bermanfaat masih perlu dilakukan. Salah satu produk bermanfaat yang dapat dihasilkan adalah etanol. Etanol mempunyai banyak kegunaan dibandingkan dengan senyawa alkohol

lainnya diantara sebagai *biofuel* dan senyawa intermediet dalam pembutaan biodiesel. Peneliti mengusulkan metode reduksi elektrokimia dengan menggunakan katoda tembaga (Cu) sebagai agen oksidator, anoda karbon (C) sebagai agen reduktor dan larutan  $\text{NaHCO}_3$  sebagai larutan elektrolit. Reduksi elektrokimia  $\text{CO}_2$  ini dilakukan dalam sel elektrokimia yang terbuat dari bahan kaca.

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang tersebut, maka dapat dirumuskan masalah dalam penelitian ini sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh waktu elektrolisis terhadap konsentrasi etanol dari gas karbon dioksida dengan metode reduksi elektrokimia?
2. Bagaimana pengaruh potensial terhadap konsentrasi etanol dari gas karbon dioksida dengan metode reduksi elektrokimia?
3. Bagaimana pengaruh laju alir gas karbon dioksida terhadap konsentrasi etanol dari metode reduksi elektrokimia?
4. Bagaimana pengaruh konsentrasi larutan elektrolit  $\text{NaHCO}_3$  terhadap konsentrasi etanol dari gas karbon dioksida dengan metode reduksi elektrokimia?

### 1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui pengaruh waktu elektrolisis terhadap konsentrasi etanol dari gas karbon dioksida dengan metode reduksi elektrokimia.
2. Mengetahui pengaruh potensial terhadap konsentrasi etanol dari gas karbon dioksida dengan metode reduksi elektrokimia.
3. Mengetahui pengaruh laju alir gas karbon dioksida terhadap konsentrasi etanol dari metode reduksi elektrokimia.
4. Mengetahui pengaruh konsentrasi larutan elektrolit  $\text{NaHCO}_3$  terhadap konsentrasi etanol dari gas karbon dioksida dengan metode reduksi elektrokimia.

### 1.4 Manfaat Penelitian

Dari penelitian ini, diharapkan dapat diambil manfaat sebagai berikut:

1. Dapat mengkonversi gas karbon dioksida ( $\text{CO}_2$ ) menjadi etanol dengan hasil yang lebih maksimal.
2. Dapat mengurangi polusi udara terutama gas karbon dioksida ( $\text{CO}_2$ ).

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

Karbon dioksida merupakan komponen minor penyusun atmosfer dengan jumlah sekitar 0,33% dari total volume atmosfer, yaitu  $58.000 \times 10^{12}$  mol. Karbon dioksida dalam jumlah yang terbesar terlarut dalam perairan laut dan darat. Karbon dioksida baik yang terdapat di atmosfer atau perairan dimanfaatkan terutama untuk fotosintesis tumbuhan, dimana karbon dioksida direduksi menjadi karbon organik (Strahler dan Artur, 1973).

Konsentrasi CO<sub>2</sub> pada awal revolusi industri diperkirakan sekitar 280 ppm. Hasil pengamatan terakhir, pada tahun 1988 menunjukkan bahwa konsentrasi CO<sub>2</sub> telah naik menjadi 351 ppm. Berarti bahwa dalam kurun waktu 100 tahun terakhir, konsentrasi CO<sub>2</sub> di atmosfer telah naik sebesar 70 ppm. Lebih dari 12,5% dari angka kenaikan tersebut hanya terjadi dalam 30 tahun terakhir ini. Jika laju peningkatan sebesar 0,4% per tahun ini berlangsung terus, maka konsentrasi menjelang akhir tahun 2025 akan melipat dua dibandingkan dengan konsentrasi CO<sub>2</sub> pada periode praindustri pada abad ke-19 (Soedomo, 2001).

Karbon dioksida merupakan unsur gas rumah kaca utama teremisikan dari penggunaan bahan bakar, industri-industri, di samping perubahan tata guna lahan melalui pembukaan hutan secara besar-besaran. Sejumlah besar gas ini diemisikan sejak revolusi industri. Pemakaian bahan bakar fosil sejak 1980 hingga sekarang telah mengemisikan 51 milyar metrik ton. Dalam empat dasa warsa terakhir, dengan semakin

meningkat penggunaan minyak bumi, CO<sub>2</sub> yang diemisikan diperkirakan sebanyak 130 milyar metrik ton. Diantara 26 negara yang paling banyak mengemisikan CO<sub>2</sub> ke atmosfer akibat pemakaian bahan bakar adalah Amerika Serikat, Eropa, Rusia, Cina dan Jepang. Perubahan tata guna tanah termasuk pembukaan hutan untuk kepentingan pertanian, diperkirakan telah mengemisikan 60 milyar metrik ton CO<sub>2</sub> (Soedomo, 2001).

Kenaikan gas CO<sub>2</sub> akan mengakibatkan pemanasan global (Jitaru, 2007). Menurut Soedomo (2001) pemanasan global akan mengakibatkan perubahan iklim. Beberapa dampak dari perubahan iklim adalah:

1. Kenaikan permukaan laut
2. Perubahan pola angin
3. Penumpukan es dan salju di laut
4. Meningkatnya badai atmosferik
5. Bertambahnya populasi dan jenis organisme penyebab penyakit dan dampaknya terhadap kesehatan masyarakat
6. Perubahan pola curah hujan dan siklus hidrologi
7. Perubahan ekosistem hutan, daratan dan ekosistem alami lainnya.

Gas CO<sub>2</sub> telah banyak dikonversi dengan berbagai macam teknik sintesis menjadi produk yang bermanfaat. Beberapa penelitian telah dilakukan untuk reduksi secara elektrokimia gas CO<sub>2</sub>. Kaneco *et al.* (2002) telah melakukan reduksi elektrokimia CO<sub>2</sub> menjadi metana dengan menggunakan elektrolit metanol. Proses yang terjadi dikendalikan pada temperatur kamar. Olah dan Prakash (2009) telah

melakukan pengolahan kembali gas CO<sub>2</sub> menjadi metanol dan dimetil eter dari gas rumah tangga. Kobayashi dan Takahashi (2004) telah melakukan reduksi elektrokimia gas CO<sub>2</sub> dari penyimpanan gas hidrogen.

Krist *et al.* (1991) telah melakukan reduksi elektrokimia gas CO<sub>2</sub> menjadi CH<sub>4</sub> dalam sel tunggal. Olah and Prakash (1999) telah mendaur ulang gas CO<sub>2</sub> dengan elektrolit metil alkohol dan menghasilkan senyawa hidrokarbon. Frese *et al.* (1986) telah melakukan reduksi elektrokimia gas CO<sub>2</sub> menjadi metanol. Olah and Prakash (2009) telah menemukan metode yang efisien dan selektif untuk mendaur ulang CO<sub>2</sub> menjadi metanol, dimetil eter dan produk turunannya.

Beberapa penelitian reduksi elektrokimia sangat dipengaruhi oleh jenis elektroda dan teknik preparasinya. Coehn *et al.* (1904) pertama kali melakukan reduksi elektrokimia CO<sub>2</sub> dengan menggunakan elektroda Cu yang dielektroplat dengan amalgama Zn. Reduksi elektrokimia CO<sub>2</sub> tersebut dilakukan dalam larutan NaHCO<sub>3</sub> dan K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> yang menghasilkan asam format. Hori *et al.* (1986) juga telah melakukan reduksi elektrokimia CO<sub>2</sub> menjadi CO, CH<sub>4</sub>, dan C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> dengan elektroda Cu dalam larutan elektrolit hidrogen karbonat. Pettinicchi *et al.* (2003) telah melakukan reduksi elektrokimia gas CO<sub>2</sub> dengan menggunakan alloy tembaga. Barton dan Bocarsly (2008) telah mengkonversi CO<sub>2</sub> menjadi metanol dan produk lain dengan teknik gabungan antara elektrokimia dan fotoelektrokimia. Elektroda yang digunakan adalah piridium yang berperan sebagai elektrokatalis. Andrews *et al.* (2013) telah melakukan reduksi elektrokimia CO<sub>2</sub> menggunakan elektroda Cu/ZnO dalam larutan elektrolit

bikarbonat dengan menghasilkan produk fase gas berupa  $H_2$ ,  $CO$ ,  $CH_4$ , dan  $C_2H_4$ , sedangkan produk fase cair berupa  $CH_3OH$ ,  $CH_3CH_2OH$ ,  $HCOOH$ .

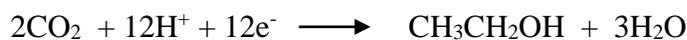
Keberhasilan teknik reduksi elektrokimia juga dipengaruhi oleh jenis logam dalam elektroda. Penggunaan elektroda tunggal dengan berbagai variasi telah dilakukan oleh beberapa peneliti. Ohta *et al.* (1995) telah melakukan reduksi elektrokimia  $CO_2$  menjadi metil alkohol 18%, asam format 0,91% dan metana 0,013% menggunakan Cu berbentuk tabung. Kaneco *et al.* (1998) telah melakukan reduksi elektrokimia  $CO_2$  menjadi  $CO$  dan asam format dengan elektroda Ag dalam larutan elektrolit  $KOH$ -metanol dengan temperatur rendah. Hara *et al.* (1995) telah melakukan reduksi elektrokimia  $CO_2$  menjadi metana, etana, etilena, propane, propilena dan butane menggunakan elektroda Fe dengan tekanan tinggi dan densitas arus yang besar.

Kaneco *et al.* (1999) telah melakukan reduksi elektrokimia  $CO_2$  menjadi etilen dengan efisiensi tinggi menggunakan elektroda Cu dan larutan elektrolit etanol. Huang *et al.* (1996) telah melakukan reduksi elektrokimia  $CO_2$  menjadi metanol dengan menggunakan elektroda Pt-Nafion-karbon. Ohkawa *et al.* (1994) telah melakukan reduksi elektrokimia  $CO_2$  menjadi  $CO$ ,  $HCOOH$ , hidrokarbon ( $CH_4$  dan  $C_2H_4$ ) dan alkohol ( $CH_3OH$  dan  $C_2H_5OH$ ) menggunakan logam paladium dimodifikasi dengan tembaga dalam larutan 0,1 M  $KHCO_3$ . Azuma *et al.* (1990) telah melakukan reduksi elektrokimia  $CO_2$  menjadi hidrokarbon ( $CH_4$  dan  $C_2H_4$ ) menggunakan elektroda Cu dalam larutan elektrolit  $KHCO_3$ . Nallas dan Brewer (1996) dan Chiericato *et al.* (2000) telah melakukan reduksi elektrokimia  $CO_2$  menjadi  $CO$  dan asam format menggunakan elektrokatalis berupa kompleks logam. Popic *et al.* (1997) telah

melakukan reduksi elektrokimia CO<sub>2</sub> menggunakan logam Rutenium oksida dan modifikasi Ru dalam dalam 0,5M NaHCO<sub>3</sub>. Chen *et al.* (2015) telah melakukan reduksi elektrokimia CO<sub>2</sub> menjadi etana menggunakan elektroda Cu<sub>2</sub>O/PdCl<sub>2</sub> dalam larutan elektrolit 0,1M KHCO<sub>3</sub>.

Reduksi elektrokimia CO<sub>2</sub> menjadi metanol dilakukan menggunakan elektroda Cu<sub>2</sub>O sintesis dalam larutan elektrolit 0,5M NaOH dan potensial 0-1,7V (Chang *et al.*, 2009). Schwartz *et al.* (1993) telah melakukan reduksi elektrokimia CO<sub>2</sub> menjadi CH<sub>3</sub>OH, CH<sub>3</sub>CH<sub>2</sub>OH, dan C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>O mencapai 40% menggunakan elektroda CuO<sub>4</sub> dengan kondisi dibawah suhu ruang. Słoczyński *et al.* (2006) telah melakukan reduksi elektrokimia CO<sub>2</sub> menjadi metanol dengan elektroda Cu/ZnO/ZrO<sub>2</sub>.

Menurut Ali *et al.* (2014) untuk mengetahui kinetika reduksi CO<sub>2</sub> pada elektroda Cu, elektrolisis dari CO<sub>2</sub>-jenuh elektrolit dilakukan dalam reaktor pada potensial konstan. Hasil tersebut menunjukkan bahwa etanol teridentifikasi sebagai produk utama dalam fase cair dari elektoreduksi CO<sub>2</sub>, sedangkan metanol dan asetaldehida sebagai produk samping. Reaksi sintesis tersebut dapat dituliskan sebagai berikut:



Elektrolit juga berperan dalam menentukan hasil elektrolisis. Naitoh *et al.* (1993) telah melakukan reduksi elektrokimia CO<sub>2</sub> dengan elektrolit metanol dalam temperatur rendah. Centi dan Perathoner (2009) telah menyampaikan peluang dan

tantangan dalam mendaur ulang gas CO<sub>2</sub> menjadi bahan bakar. Ogura dan Ichiro (1986) telah melakukan reduksi elektrokimia CO<sub>2</sub> menjadi metanol dengan penambahan larutan, 1,2-dihydroxybenzene-3,5-disulphonatoferrate (III) dan etanol. Fan dan Kaoru (1993) telah mengembangkan katalis yang aktif dan stabil untuk reduksi elektrokimia CO<sub>2</sub> menjadi metanol berbasis paladium. Summers *et al.* (1986) telah melakukan reduksi elektrokimia CO<sub>2</sub> menjadi metanol dengan elektroda Mo pada potensial rendah. Zhang *et al.* (2014) telah melakukan reduksi elektrokimia CO<sub>2</sub> dalam larutan elektrolit KHCO<sub>3</sub> menjadi asam format dengan efisiensi 46%. Kaneco *et al.* (1999) juga telah melakukan reduksi elektrokimia CO<sub>2</sub> dengan elektroda Cu dalam larutan elektrolit NaHCO<sub>3</sub> 0,65 M menghasilkan efisiensi faraday sebesar 42,5% untuk pembentukan CH<sub>4</sub>. Frese (1991) juga telah melakukan reduksi elektrokimia CO<sub>2</sub> menjadi metanol dengan variasi katoda Cu oksida dan anoda Cu dalam larutan 0,5 M KHCO<sub>3</sub>.

## **BAB III**

### **DASAR TEORI**

#### **3.1 Karbon Dioksida**

Karbon dioksida merupakan unsur gas rumah kaca utama teremisikan dari penggunaan bahan bakar, industri-industri, di samping perubahan tata guna lahan melalui pembukaan hutan secara besar-besaran. Sejumlah besar gas ini diemisikan sejak revolusi industri. Pemakaian bahan bakar fosil sejak 1980 hingga sekarang telah mengemisikan 51 milyar metric ton. Dalam empat dasawarsa terakhir, dengan semakin meningkatnya penggunaan minyak bumi, CO<sub>2</sub> yang diemisikan diperkirakan sebanyak 130 milyar metric ton. Diantara 26 negara yang paling banyak mengemisikan CO<sub>2</sub> ke atmosfer akibat pemakaian bahan bakar adalah Amerika Serikat, Eropa, Rusia, Cina dan Jepang (Soedomo, 2001).

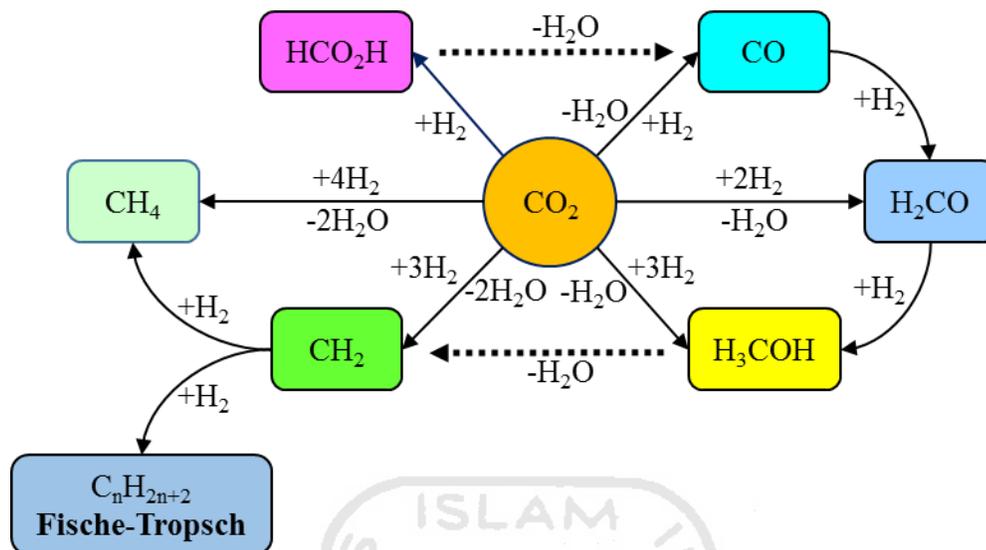
Karbon dioksida tidak mempunyai bentuk cair pada tekanan di bawah 5,1 atm namun langsung menjadi padat pada temperatur di bawah -78 °C yang disebut sebagai es kering. Molekul karbon dioksida (O=C=O) mengandung dua ikatan rangkap yang berbentuk linear dan tidak memiliki perbedaan momen dipol. CO<sub>2</sub> adalah molekul triatomic yang berbentuk linear. Pusat atom karbon memiliki hibridisasi sp dengan jarak ikatan C-O sebesar 1,16 Å, dimana jaraknya lebih pendek dari ikatan rangkap pada karbon sp<sup>2</sup>. Perbedaan keelektronegatifan dari oksigen dan muatan positif sebagian pada atom karbon pusat. Oleh karena itu, molekul CO<sub>2</sub> dapat membentuk beberapa posisi berbeda yang membutuhkan sifat elektronik spesifik untuk koordinasi

yang mungkin (Scibioh dan Viswanathan dalam Fitriani, 2012). Sifat-sifat fisik CO<sub>2</sub> ditunjukkan pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Sifat-Sifat fisik CO<sub>2</sub> (Scibioh dan Viswanathan, 2004)

No	Sifat Fisik	Nilai
1	Titik didih (°C)	-78,5
2	Panjang ikatan	1,16 (C-O)
3	Energi ionisasi (eV)	13,78
4	Afinitas elektron (V)	-0,6

Molekul CO<sub>2</sub> dapat membentuk resonansi dimana atom O dapat bertindak sebagai asam atau basa lewis. Ketika salah satu dari atom O dalam molekul CO<sub>2</sub> memiliki muatan parsial positif (asam lewis) maka atom O ini dapat berinteraksi dengan logam yang kaya elektron. Sedangkan ketika atom O dalam molekul CO<sub>2</sub> bermuatan parsial negatif, hal ini akan menyebabkan atom C bermuatan parsial positif dan dapat berinteraksi dengan logam yang kaya dengan elektron. Selain itu interaksi dengan logam juga dapat melalui model Dewar Charr Ducanson yaitu pembentukan kompleks phi melalui ikatan rangkap yang ada pada molekul CO<sub>2</sub>.

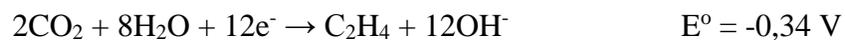


Gambar 3.1 Reduksi  $\text{CO}_2$  menghasilkan produk penting bagi industri (Scibioh dan Viswanathan, 2004)

Salah satu cara untuk mereduksi  $\text{CO}_2$  adalah dengan elektrolisis menggunakan elektroda logam. Reaksi reduksi dapat berlangsung dengan adanya elektron yang dihasilkan oleh reaksi oksidasi air pada anoda. Tahap dari awal reduksi  $\text{CO}_2$  adalah adsorpsi  $\text{CO}_2$  pada permukaan logam. Hal ini disebabkan permukaan elektroda yang diberi potensial negatif menjadikan molekul netral maupun kation-kation dapat mendekati permukaan elektroda tersebut. Molekul  $\text{CO}_2$  dapat teradsorpsi secara kimia sebagai  $\text{CO}_2^{\delta-}$  (Freund dan Robert, 1996).

Interaksi logam transisi dengan  $\text{CO}_2$  dapat mendukung model struktural dan fungsional untuk intermediet *surface-bound* pada proses konversi katalis  $\text{CO}_2$  menjadi senyawa-senyawa hidrokarbon atau alkohol seperti terlihat pada Gambar 3.1 (Scibioh dan Viswanathan, 2004). Beberapa reaksi yang dapat terjadi pada katoda (reaksi

reduksi) di dalam reaktor elektrosintesis berserta nilai potensialnya pada pH = 7 dan temperatur 25 °C adalah (Li, 2010):



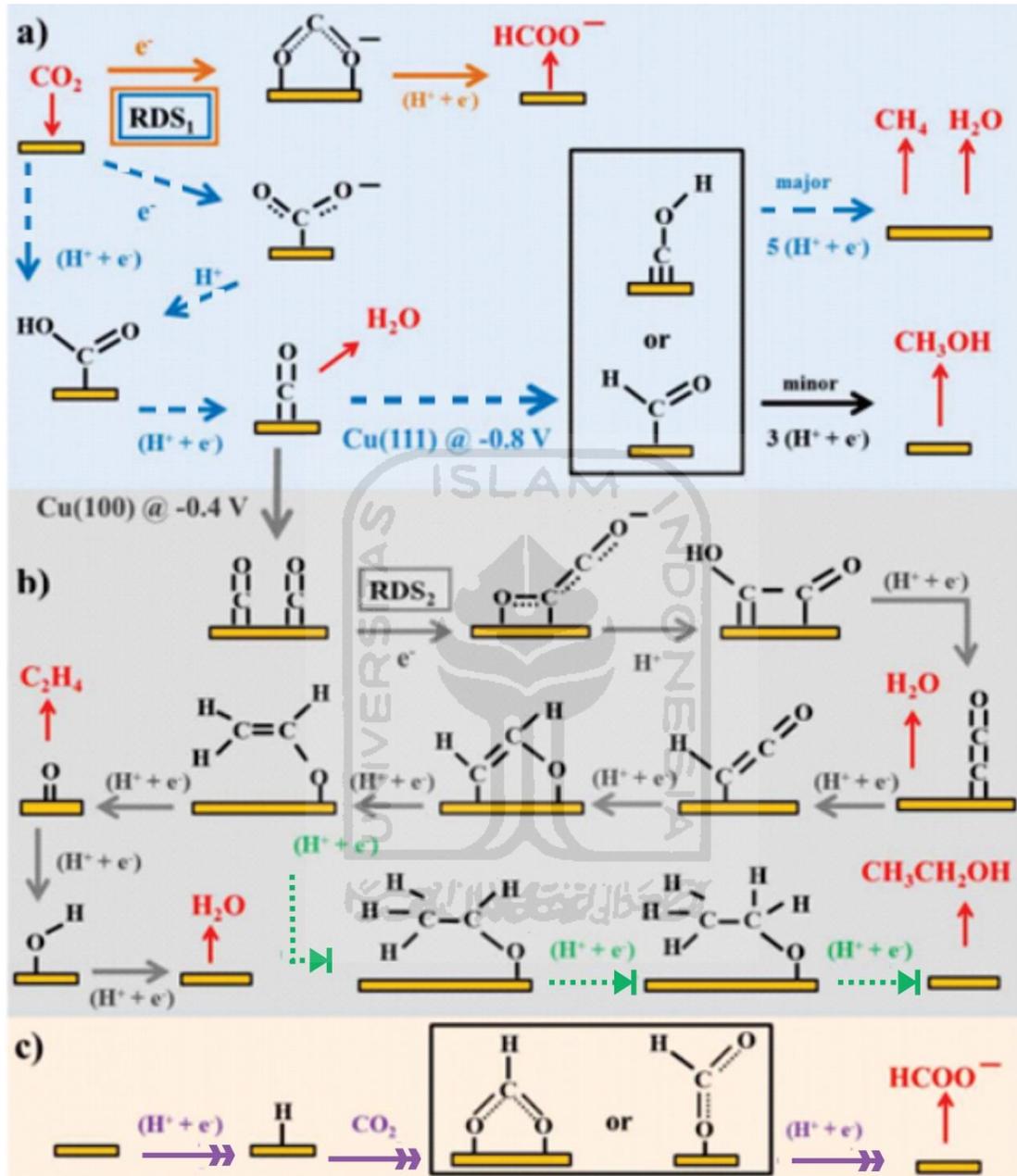
Keuntungan dari reduksi elektrokimia CO<sub>2</sub> ini adalah bahwa air dapat digunakan sebagai sumber proton pada reaksi baik dalam spesi H<sup>+</sup> maupun H<sub>2</sub> (atom H yang teradsorpsi). Selain itu, reaksi ini juga dapat berlangsung pada temperatur ruang. Namun, reaksi reduksi CO<sub>2</sub> ini terjadi bersamaan dengan reduksi air atau pembentukan hidrogen (*hydrogen evolution*) (Maria, 2007).

Produk elektrolisis CO<sub>2</sub> yang dihasilkan bergantung pada material yang digunakan dalam kondisi eksperimen yang diterapkan. Beberapa penelitian telah dilakukan untuk mereduksi CO<sub>2</sub> secara elektrokimia dengan efisiensi faraday dan selektifitas yang tinggi dan juga densitas arus yang tinggi (Scibioh dan Viswanathan, 2004).

Tabel 3.2 Hasil reduksi CO<sub>2</sub> pada beberapa logam sp dan d

Logam	Produk	
	Aqueous medium	Non aqueous medium
Logam golongan sp		
Cu	HCOOH, hidrokarbon	-
In, C, Si, Sn, Pb, Bi, Zn, Cd,	HCOOH, CO,	Hidrokarbon, CO
Hg	Hidrokarbon	
In, Sn, Pb, Cu, Au, Zn, Cd	-	CO
Logam golongan d		
Ni, Pd, Rh, Ir	HCOOH, CO	-
Fe, Ru, Ni, Pd, Pt	Hidrokarbon	-
Mo, W, Ru, Os, Pd, Pt	MeOH	-

Hasil reduksi CO<sub>2</sub> bergantung pada beberapa faktor seperti jenis logam yang digunakan sebagai elektroda, potensial reaksi, jenis larutan elektrolit, dan kondisi reaksi seperti tekanan dan temperatur (Fitriani, 2012). Kemungkinan jalur reaksi reduksi elektrokimia CO<sub>2</sub> dengan menggunakan elektroda logam seperti Gambar (Kortlever *et al.*, 2015).



Gambar 3.2 Jalur reaksi reduksi elektrokimia CO<sub>2</sub> dengan produk a) CH<sub>4</sub> (--->), CH<sub>3</sub>OH (--->), HCOO<sup>-</sup> (—>); b) etilena (—>) dan etanol (.....>); c) asam format (—>).

### 3.2 Elektrokimia

Elektrokimia adalah cabang ilmu yang mengamati hubungan antara perubahan reaksi kimia dengan energi listrik. Elektrokimia mempelajari perubahan kimia yang terjadi akibat arus listrik yang mengalir pada suatu bahan atau energi listrik yang dihasilkan oleh reaksi kimia. Maka, ada dua jenis sel elektrokimia yaitu spontan dan sel elektrokimia yang menyerap energi dari sumber listrik untuk menggerakkan reaksi non spontan. Metode ini digunakan untuk menganalisa sampel dengan cara mengukur potensial, arus, dan hambatan. Sinyal yang dihasilkan berasal dari reaksi reduksi dan oksidasi pada permukaan elektroda (Umar, 2012).

Dalam sel elektrolisis, terdapat suatu gaya dorongan elektron sehingga mampu berpindah dari anoda ke katoda. Gaya dorongan ini disebabkan oleh potensial listrik antara anoda dan katoda. Kerja maksimum yang didapatkan dalam suatu sel elektrokimia tergantung pada perbedaan potensial sel yang terjadi pada elektroda sedangkan dapat juga dipengaruhi oleh sifatnya seperti transfer massa, besaran listrik, jenis larutan yang digunakan dan faktor lain seperti suhu, tekanan, dan waktu (Tribidasari, 2011).

### 3.3 Elektroreduksi (Reduksi Elektrokimia)

Reduksi elektrokimia merupakan bagian dari sintesis elektrokimia. Elektrokimia adalah suatu teknik yang menggunakan perpindahan elektron di permukaan elektroda heterogen. Perpindahan elektron memerlukan perantara reaktif, seperti: karbokation, karbanion, ion radikal dan radikal bebas. Perbedaan antara reaksi

kimia dengan elektrokimia ialah berhubungan dengan perantara reaktif yang dihasilkan. Dalam teknik elektrokimia, elektroda digunakan untuk memindahkan elektron, sedangkan pada reaksi kimia, bahan reduksi atau oksidasi digunakan untuk memindahkan elektron. Lund dan Hammerich (2001) menyatakan bahwa teknik elektrokimia bisa digunakan untuk tujuan sintesis organik.

Bahan reaksi membentuk ikatan kovalen atau ikatan ion dalam reaksi reduksi atau oksidasi kimia biasa, sedangkan dalam elektrokimia senyawa reaksi harus menjerap (dari larutan) ke permukaan elektroda dan bersaing dengan senyawa lain dalam elektrolit untuk terjerap di permukaan elektroda. Langkah seterusnya yaitu terbentuknya perantara reaktif dengan memindahkan elektron di permukaan elektroda yang akan bereaksi dengan energi pengaktifan rendah kepada hasil. Sedangkan dalam reaksi reduksi oksidasi kimia yang biasa, agen reduksi atau oksidasi digunakan dan akan bereaksi dengan energi pengaktifan yang lebih tinggi (Lund dan Hammerich, 2001).

Perbedaan lain yang penting antara reaksi kimia dan elektrokimia adalah dalam reaksi elektrokimia selalu dilakukan dalam sel elektrolisis yang diberi energi dari sumber arus. Sel elektrolisis terdiri dari elektroda positif (anoda) dan negatif (katoda) serta elektrolit yaitu larutan yang mengandung ion untuk membawa arus. Elektroda dibuat dari unsur khusus yang mempunyai sifat elektrokatalis, meningkatkan selektivitas hasil, kestabilan dalam larutan elektrolit, dan dapat menurunkan potensial sel. Elektroda diletakkan berdekatan supaya potensial dapat diminimumkan, tetapi tidak boleh bersentuhan.

Teknik sintesis elektrokimia tidak memerlukan bahan pengoksida dan juga katalis, karena elektroda bisa berfungsi sebagai tempat berlangsungnya oksidasi dan pada waktu yang sama bisa berfungsi sebagai katalis. Conway (1965) menyatakan bahwa banyak senyawa organik yang dapat mengalami reaksi di permukaan elektroda padat. Logam dan oksidanya mempunyai sifat sebagai katalis aktif, sehingga reaksi elektrokimia organik berlangsung lebih cepat dan elektrodanya juga berfungsi sebagai tempat oksidasi. Proses oksidasi katalis berlangsung di permukaan elektroda secara serentak, sehingga dapat meningkatkan kecepatan reaksi.

Menurut Kyriacou (1981), untuk melakukan sintesis organik elektrokimia terdapat enam dasar utama yang harus dipertimbangkan yaitu:

1. Pemilihan elektroda
2. Pemilihan medium reaksi (pelarut dan elektrolit penyokong)
3. Pemilihan potensial sel
4. Pemilihan suhu dan pH larutan
5. Pemilihan jenis sel (terpisah oleh membran atau tidak)
6. Perolehan hasil

Keuntungan sintesis organik elektrokimia adalah tidak memerlukan bahan oksidasi dan reduksi, tidak dihasilkan bahan sisa beracun, masalah persekitaran dan biaya untuk pengolahan air buangan dapat dihindarkan. Kelebihan sintesis organik elektrokimia dibanding sintesis kimia biasa menurut Kissinger dan Heineman (1996) diringkaskan sebagai berikut:

1. Keselektifan hasil reaksi mudah ditentukan melalui potensial elektroda yang digunakan.
2. Kecepatan reaksi dapat ditentukan melalui densitas arus.
3. Kuantitas hasil reaksi dapat ditentukan melalui penggunaan cas.
4. Keadaan reaksi pada umumnya sangat sederhana.
5. Bebas penggunaan bahan pengoksida dan pereduksi.

Martin *et al.* (1993) menyatakan bahwa elektroda adalah kutub-kutub listrik pada rangkaian sel elektrokimia. Pada rangkaian sel elektrokimia, terbagi menjadi dua bagian yaitu:

1. Katoda

Katoda adalah elektroda tempat terjadinya reaksi reduksi dimana didalamnya terjadi penangkapan elektron oleh suatu spesi.

Reaksi:



2. Anoda

Anoda adalah elektroda tempat terjadinya reaksi oksidasi sehingga akan terjadi pelepasan elektron selama reaksi berlangsung.

Reaksi:



Dimana: O adalah oksidator

R adalah reduktor

### 3.4 Kromatografi Gas (KG)

Kromatografi gas adalah metode pemisahan yang mana komponen sampel dipartisi di antara dua fase yaitu fase diam dan fase gerak dengan fase gerak yang digunakan berupa gas. Prinsip kromatografi adalah perbedaan afinitas dari komponen campuran terhadap fasa diam yang menyebabkan terjadinya pemisahan. Sampel diuapkan dan dibawa oleh gas pembawa melewati kolom. Sampel berinteraksi pada fase diam berdasarkan kelarutan pada suhu tertentu. Komponen sampel saling berpisah berdasarkan pada tekanan uap dan afinitas relatif terhadap fase diam. Perbedaan interaksi antara analit dan fase diam akan menimbulkan perbedaan laju alir yang disebut waktu retensi. Analisis kualitatif dilakukan dengan melihat waktu retensi yang merupakan identitas dari analit, sedangkan analisis kuantitatif dilakukan dengan pengukuran luas area dan tinggi puncak pada kromatogram serta pembuatan kurva kalibrasi (Skoog *et al.*, 2000).

Kecermatan atau akurasi adalah ukuran yang menunjukkan derajat kedekatan hasil analisis dengan kadar analit yang sebenarnya. Kecermatan biasanya dinyatakan sebagai persen perolehan kembali atau *recovery* (Harmita, 2006). Akurasi atau kecermatan dapat ditetapkan dengan metode (Joseph, 1997):

a. *Recovery* analit

Terhadap contoh produk dengan analit pada rentang konsentrasi yang sesuai, untuk contoh yang diketahui komposisinya (analisis formulasi buatan/sintesis)

b. Metode standar adisi

Teknik penambahan senyawa aku pembanding (*spiked sample*) pada rentang konsentrasi yang sesuai ke dalam produk sampel yang akan dianalisis. Teknik ini digunakan untuk sampel yang tidak diketahui komposisinya.

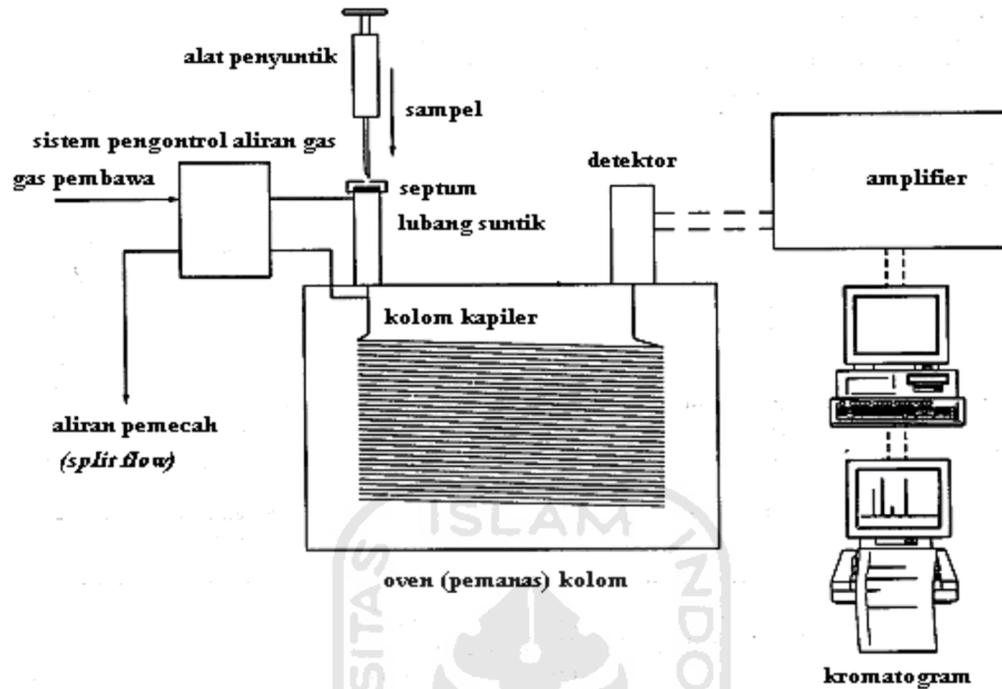
c. Pembandingan hasil pengujian

Membandingkan hasil pengujian metode analisis yang sedang divalidasi dengan metode analisis yang telah valid (metode baku/metode resmi).

Kromatografi gas (KG) adalah teknik analitis untuk senyawa volatil dan semivolatil. Banyak analisis etanol dilakukan dengan KG karena pengotor di dalam etanol pada dasarnya bersifat volatil sama halnya dengan sifat etanol tersebut (Onuki *et al.*, 2008). Dalam kromatografi gas, fasa diam merupakan padatan atau cairan dengan titik didih yang tinggi sedangkan fasa geraknya adalah gas inert.

Kromatografi gas sering digunakan untuk analisis karena kromatografi gas memiliki beberapa keunggulan antara lain analisis yang cepat, efisien, resolusi tinggi, sensitif, dapat mendeteksi hingga konsentrasi ppm bahkan ppb, akurat, membutuhkan sampel yang sedikit, serta mudah digunakan (McNair and Miller, 2009).

Kromatografi gas tersusun atas bagian-bagian yang memiliki fungsi yang berbeda-beda. Bagian dasar dari kromatografi disajikan dalam Gambar 3.3.



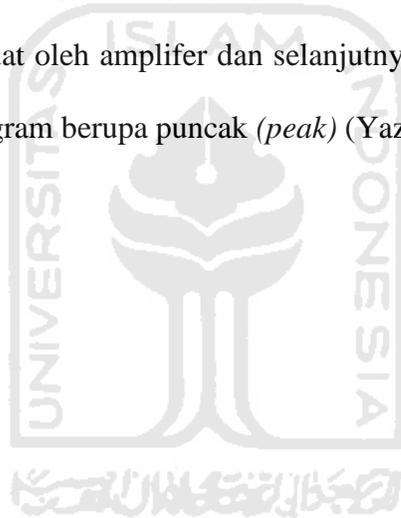
Gambar 3.3 Skema alat kromatografi gas (McNair and Miller, 2009).

Di dalam kromatografi gas terdapat beberapa detektor yang umum 23 digunakan, antara lain *Flame ionization detector* (FID), *Thermal conductivity detector* (TCD), *Electron capture detector* (ECD), *Photo ionization detector* (PID), *Flame photometric detector* (FPD), dan *Mass spectrometer* (MS) (Sevcik, 1976). Pada prinsipnya, detektor FID ini hanya dapat mendeteksi senyawa-senyawa yang dapat dibakar atau dengan kata lain hanya spesifik untuk hidrokarbon. Sedangkan untuk gas-gas seperti  $H_2$ ,  $N_2$ , Ar,  $O_2$  tidak dapat terdeteksi dengan menggunakan detektor ini melainkan dapat menggunakan detektor TCD.

Gas pembawa (biasanya digunakan Helium, Argon atau Nitrogen) dengan tekanan tertentu dialirkan secara konstan melalui kolom yang berisi fase diam.

Selanjutnya sampel diinjeksikan ke dalam injektor (*injection port*) yang suhunya dapat diatur. Komponen-komponen dalam sampel akan segera menjadi uap dan akan dibawa oleh aliran gas pembawa menuju kolom. Komponen-komponen akan teradsorpsi oleh fase diam pada kolom kemudian akan merambat dengan kecepatan berbeda sesuai dengan nilai  $K_d$  masing-masing komponen sehingga terjadi pemisahan.

Komponen yang terpisah kemudian akan menuju ke detektor dan akan menghasilkan sinyal listrik yang besarnya proporsional dengan komponen tersebut. Sinyal tersebut lalu diperkuat oleh amplifer dan selanjutnya oleh pencatat (*recorder*) dituliskan sebagai kromatogram berupa puncak (*peak*) (Yazid, 2005).

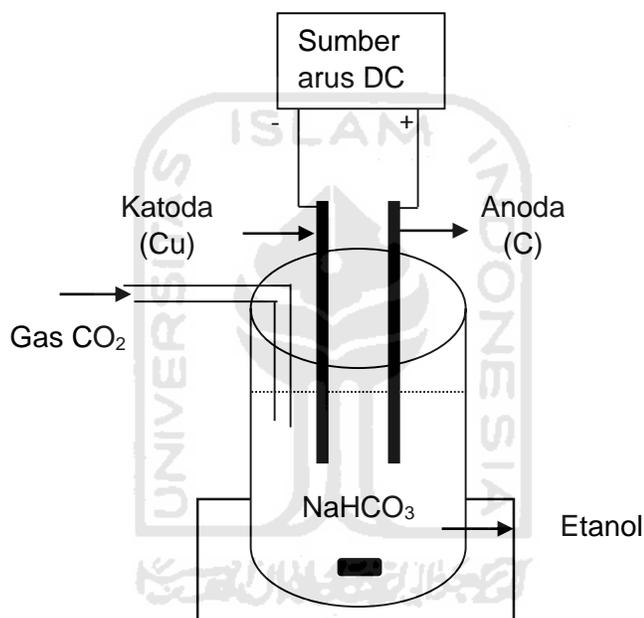


## BAB IV

### METODE PENELITIAN

#### 4.1 Desain Penelitian

Rancangan alat yang akan dibuat dapat dilihat pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Rancangan bentuk reaktor untuk reduksi elektrokimia CO<sub>2</sub>

#### 4.2 Alat dan Bahan Penelitian

##### 4.2.1 Alat-alat yang digunakan

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Sel elektrolisis yang dilengkapi dengan sumber arus
2. *Power Supply* buatan Sanfix SP-303E
3. *Magnetic Stirrer* buatan ST-2

4. Seperangkat alat gelas
5. *Gas Chromatography* (GC) buatan Buck Scientific model 910

#### **4.2.2 Bahan-bahan yang digunakan**

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Gas CO<sub>2</sub> dengan kemurnian 100%
2. Karbon (C) dari batu baterai
3. Plat tembaga (Cu)
4. Natrium Hidrogen Karbonat (NaHCO<sub>3</sub>) buatan Merck
5. Aquades buatan Laboratorium Penelitian FMIPA UII

### **4.3 Cara Kerja**

#### **4.3.1 Preparasi Elektroda**

Elektroda yang digunakan dalam penelitian ini adalah elektroda tembaga dan karbon yang berasal dari batu baterai. Elektroda tembaga terlebih dahulu diampas. Sedangkan elektroda terlebih dahulu dicuci menggunakan aquades, kemudian dioven selama 3 jam dengan suhu 110°C untuk menghilangkan kandungan airnya.

#### **4.3.2 Pengaruh Waktu Elektrolisis terhadap Konsentrasi Etanol**

Larutan elektrolit berupa NaHCO<sub>3</sub> 0,1 M sebanyak 50 mL dimasukkan ke reaktor, kemudian di buble gas CO<sub>2</sub> dan dielektrolisis selama 150 menit dengan selang 30 menit diambil produk yang dihasilkan. Potensial yang digunakan adalah 3 volt dan laju alir 1,5 mL/cm<sup>3</sup>. Hasil elektrolisis dianalisis menggunakan Kromatografi Gas (KG) dan dicari waktu terbaik untuk mendapatkan etanol dengan konsentrasi tinggi.

#### 4.3.3 Pengaruh Potensial terhadap Konsentrasi Etanol

Pada penelitian ini digunakan potensial dengan variasi 1 volt, 3 volt, 5 volt, dan 7 volt. Larutan elektrolit  $\text{NaHCO}_3$  0,1 M sebanyak 50 mL dimasukkan ke reaktor dan dielektrolisis dengan laju alir gas  $\text{CO}_2$  1,5 mL/cm<sup>3</sup> dan waktu yang optimal. Hasil yang diperoleh dianalisis menggunakan Kromatografi Gas (KG) dan dicari potensial terbaik untuk menghasilkan etanol dengan konsentrasi paling tinggi.

#### 4.3.4 Pengaruh Laju alir Gas $\text{CO}_2$ terhadap Konsentrasi Etanol

Pada penelitian ini digunakan laju alir gas  $\text{CO}_2$  dengan variasi 0,5 mL/cm<sup>3</sup>, 1 mL/cm<sup>3</sup>, 1,5 mL/cm<sup>3</sup>, dan 2 mL/cm<sup>3</sup>. Larutan elektrolit  $\text{NaHCO}_3$  0,1 M sebanyak 50 mL dimasukkan ke reaktor dan dielektrolisis dengan masing-masing laju alir gas  $\text{CO}_2$ , waktu dan potensial yang optimal. Hasil yang diperoleh dianalisis menggunakan Kromatografi Gas (KG) dan dicari potensial terbaik untuk menghasilkan etanol dengan konsentrasi paling tinggi.

#### 4.3.2 Pengaruh Konsentrasi Larutan Elektrolit terhadap Konsentrasi Etanol

Elektrolit yang digunakan dalam penelitian ini adalah  $\text{NaHCO}_3$ . Larutan  $\text{NaHCO}_3$  dibuat dengan konsentrasi 0,05 M; 0,1 M; 0,15 M; dan 0,2 M dalam labu ukur 50 mL. Masing-masing larutan  $\text{NaHCO}_3$  dengan berbagai konsentrasi tersebut dimasukkan ke reaktor kemudian di *buble* gas  $\text{CO}_2$  sambil dielektrolisis. Waktu, potensial, dan volume laju alir yang digunakan adalah hasil optimasi pada percobaan optimalisasi sebelumnya. Hasil yang diperoleh dianalisis menggunakan Kromatografi Gas (KG) dengan metode *spike*, kemudian dicari konsentrasi terbaik untuk mendapatkan etanol dengan konsentrasi paling tinggi.

## BAB V

### HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini bertujuan untuk mereduksi CO<sub>2</sub> menjadi etanol dengan metode reduksi elektrokimia. Reduksi elektrokimia dari CO<sub>2</sub> di dalam larutan elektrolit NaHCO<sub>3</sub> diproses dalam suatu reaktor yang dilengkapi dengan satu sel elektroda katoda dan anoda. Elektroda yang digunakan adalah elektroda tembaga dan elektroda karbon. Pemilihan Elektroda tembaga (Cu) digunakan sebagai katoda (elektroda negatif), yaitu tempat berlangsungnya reduksi CO<sub>2</sub> sedangkan elektroda karbon (C) sebagai anoda (elektroda positif), yaitu tempat berlangsungnya reaksi oksidasi air sebagai sumber aliran elektron.

Plat Cu sebelum digunakan sebagai elektroda pada katoda di gosok dengan kertas amplas. Preparasi ini bertujuan untuk membersihkan permukaan elektroda Cu dari pengotor-pengotor logam atau oksida logam yang dapat menutupi sisi aktif dari elektroda Cu. Pemilihan Cu sebagai elektroda pada katoda sesuai dengan penelitian yang telah dilakukan oleh Hori *et al* (1986). Salah satu cara untuk mereduksi CO<sub>2</sub> adalah dengan elektrolisis menggunakan elektroda logam salah satunya Cu. Reaksi reduksi dapat berlangsung dengan adanya elektron yang dihasilkan oleh reaksi oksidasi air pada anoda. Tahap awal dari reduksi CO<sub>2</sub> adalah adsorpsi CO<sub>2</sub> pada permukaan logam. Hal ini disebabkan permukaan elektroda yang diberi potensial negatif menjadikan molekul netral maupun kation-kation dapat mendekati permukaan elektroda tersebut (Freund, 1996). Sedangkan batang C yang digunakan sebagai elektroda pada anoda di aktivasi terlebih dahulu dengan

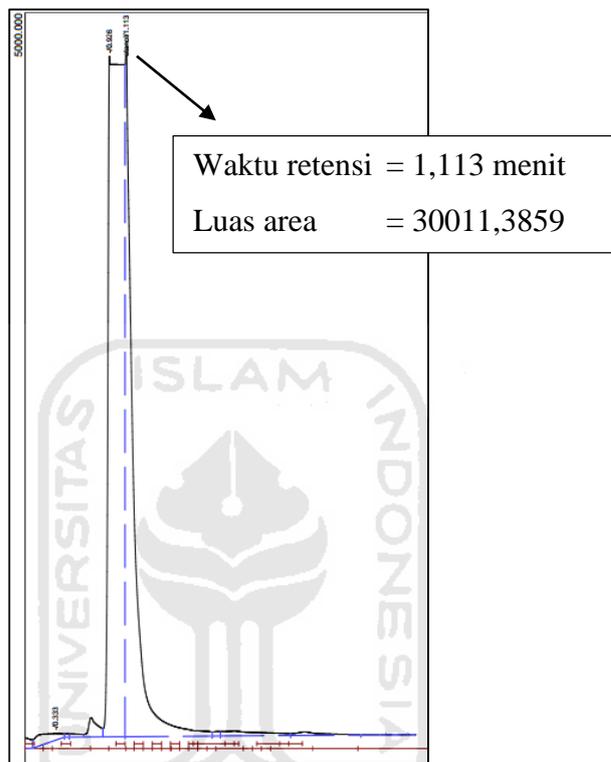
cara di oven selama 3 jam dengan suhu 110°C. Hal tersebut bertujuan untuk menghilangkan kandungan air dan membuka pori-pori pada karbon sehingga luas permukaannya lebih besar.

Reduksi elektrokimia CO<sub>2</sub> ini merupakan reaksi yang terjadi secara tidak spontan ( $E^{\circ}$  = negatif) dimana dalam prosesnya dibutuhkan sumber energi yang berasal dari luar berupa sumber arus listrik DC. Pada penelitian ini digunakan 4 variasi untuk menghasilkan produk etanol yang maksimal yaitu waktu elektrolisis, perbedaan potensial, volume alir gas karbon dan konsentrasi larutan elektrolit.

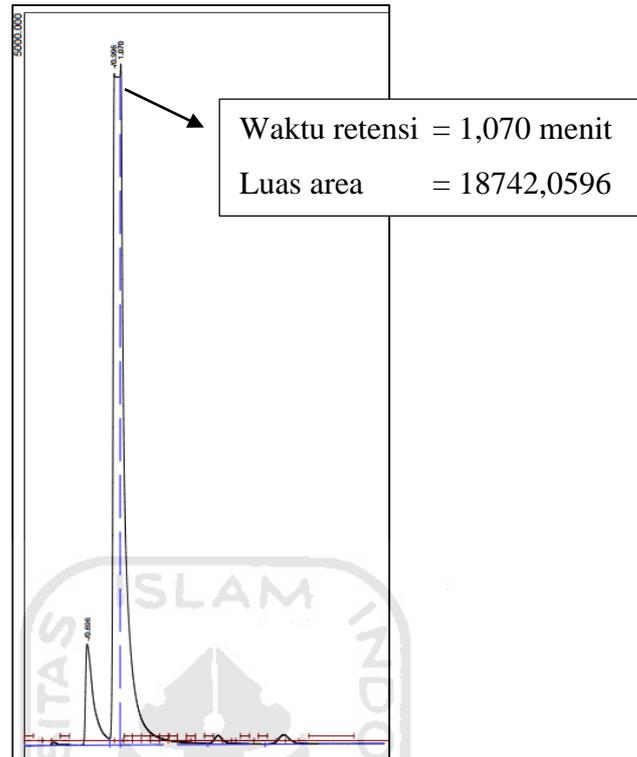
### **5.1 Pengaruh Waktu Elektrolisis Terhadap Konsentrasi Etanol dari Reduksi Elektrokimia CO<sub>2</sub>**

Pada penelitian ini terdapat dua tipe elektroda pada anoda yang digunakan untuk menentukan waktu elektrolisis optimal, yaitu elektroda karbon (C) non-aktivasi dan aktivasi. Hal tersebut bertujuan untuk mengetahui besarnya pengaruh anoda terhadap waktu elektrolisis CO<sub>2</sub> agar dihasilkan etanol dengan konsentrasi maksimal. Hasil reduksi elektrokimia CO<sub>2</sub> pada penelitian ini berupa larutan oleh karena itu dilakukan pengujian sampel cair dengan KG-FID, masing-masing tipe elektroda dibandingkan dengan standar etanol yang berbeda sesuai dengan waktu pengambilan sampel. Reduksi elektrokimia dengan elektroda karbon (C) non-aktivasi menggunakan kromatogram pembanding standar etanol 1% dengan waktu retensi 1,163 (Gambar 5.1) dan kromatogram sampel dengan variasi waktu elektrolisis 120 menit (Gambar 5.2). Terdapat 1 *peak* pada waktu retensi 1,070 yang diduga sebagai *peak* etanol. Hal tersebut dapat dibuktikan dengan membandingkan kromatogram sampel dan standar etanol 1%. Pada kromatogram sampel

menunjukkan bahwa terdapat *peak* dengan waktu retensi yang mendekati waktu retensi etanol standar. Sehingga dapat dipastikan bahwa sampel mengandung etanol.

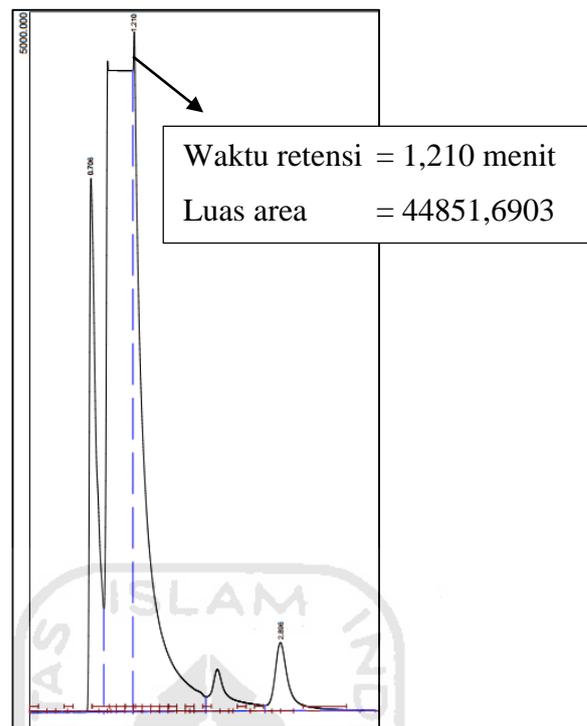


Gambar 5.1 Kromatogram etanol standar 1%

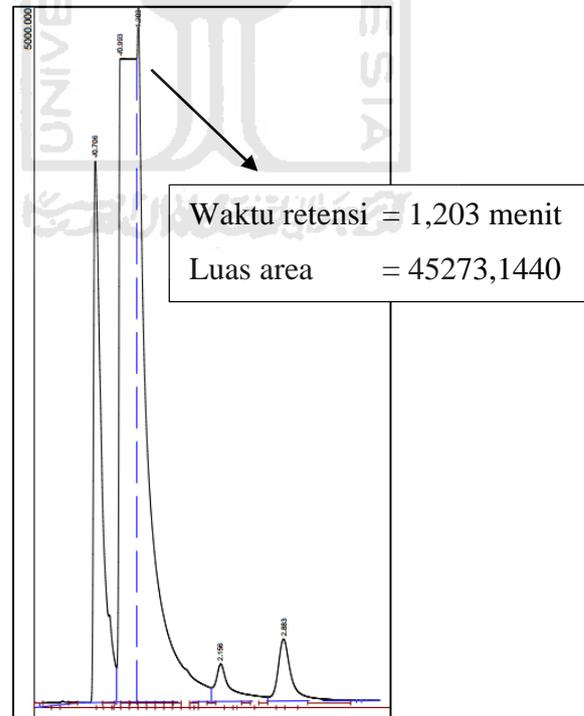


Gambar 5.2 Kromatogram sampel dengan waktu elektrolisis 120 menit (non-aktivasi)

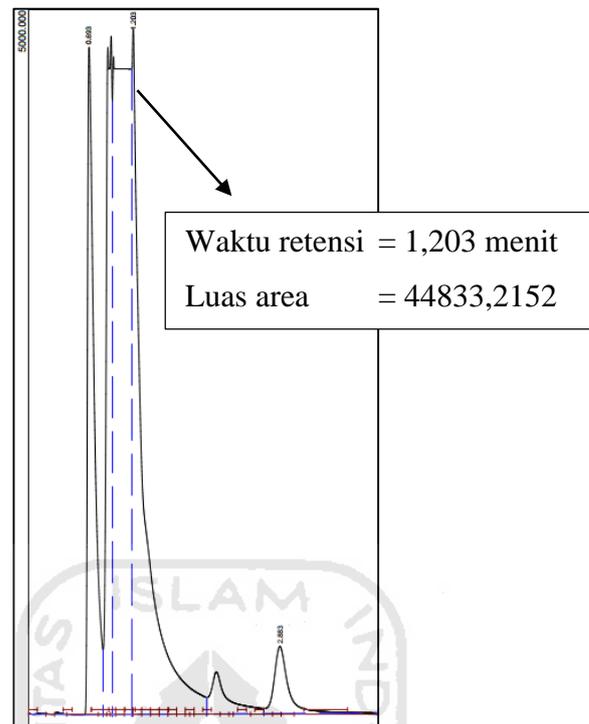
Hasil reduksi elektrokimia  $\text{CO}_2$  pada elektroda karbon (C) aktivasi ditunjukkan oleh Gambar 5.3 kromatogram etanol 1% yang digunakan standar atau pembanding dalam pengujian. Gambar 5.4 menunjukkan salah satu kromatogram yang diperoleh dari sampel dengan variasi waktu elektrolisis 60 menit. Terdapat 1 *peak* pada waktu retensi 1,203 yang diduga sebagai *peak*  $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ . Hal tersebut dibuktikan dengan Gambar 5.4 yang merupakan kromatogram campuran antara 4 mL sampel dengan 1 mL etanol standar 1%. Pada kromatogram tersebut menunjukkan bahwa terdapat kenaikan *peak* pada *peak* dengan waktu retensi yang mendekati waktu retensi etanol standar, sehingga dapat dipastikan bahwa sampel mengandung  $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ .



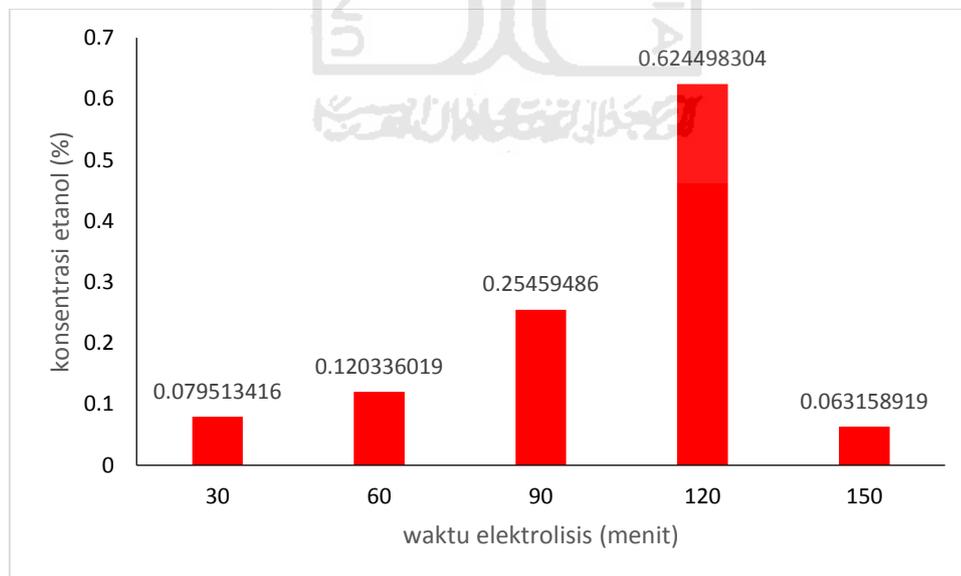
Gambar 5.3 Kromatogram standar etanol 1%



Gambar 5.4 Kromatogram sampel dengan variasi waktu elektrolisis 60 menit (aktivasi)



Gambar 5.5 Kromatogram sampel dengan variasi waktu elektrolisis 60 menit (aktivasi) + standar etanol 1%

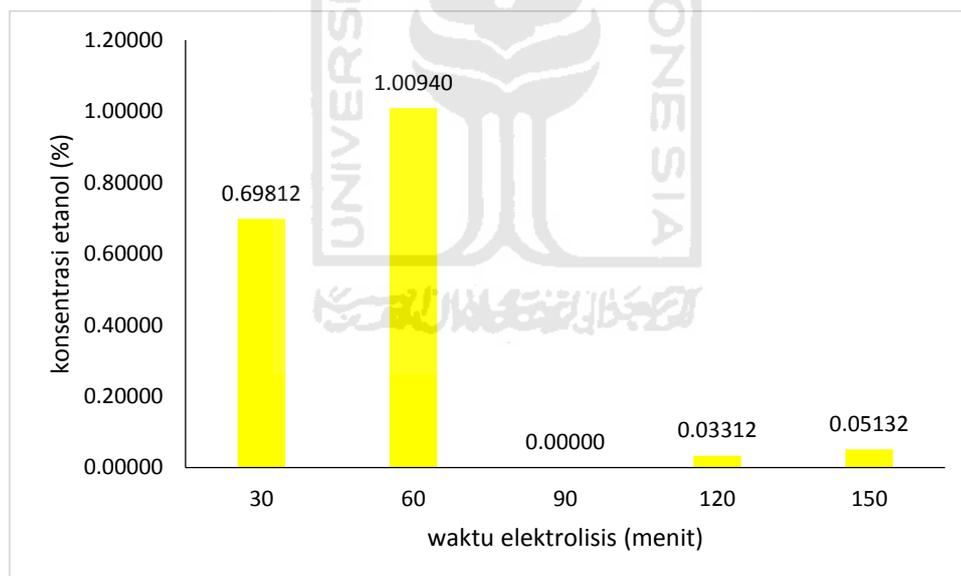


Gambar 5.6 Grafik hasil etanol pada variasi waktu elektrolisis (non-aktivasi)

Hasil kromatogram akan memberikan hasil analisis berupa waktu dan luas area. Untuk mengetahui produk yang dihasilkan secara kuantitatif, maka dilakukan

perbandingan dengan larutan standar yang disebut sebagai metode standar tunggal. Perbandingan tersebut dilakukan dengan menggunakan larutan etanol standar 1%.

Gambar 5.6 menunjukkan hasil kromatogram pengaruh waktu elektrolisis dengan elektroda C non-aktivasi terhadap reduksi elektrokimia dapat di simpulkan dari grafik hasil etanol pada variasi waktu elektrolisis (non-aktivasi). Berdasarkan grafik tersebut terlihat bahwa semakin lama waktu elektrolisis maka konsentrasi etanol yang diperoleh semakin tinggi dan kemudian turun pada waktu elektrolisis 150 menit. Pada waktu 120 menit diperoleh konsentrasi etanol tertinggi yaitu 0.62449%.



Gambar 5.7 Grafik hasil etanol pada variasi waktu elektrolisis (aktivasi)

Gambar 5.7 menunjukkan hasil kromatogram pengaruh waktu elektrolisis dengan elektroda C aktivasi terhadap reduksi elektrokimia dapat di simpulkan dari grafik hasil etanol pada variasi waktu elektrolisis (aktivasi). Berdasarkan grafik tersebut terlihat bahwa terjadi kenaikan konsentrasi etanol pada variasi waktu 30

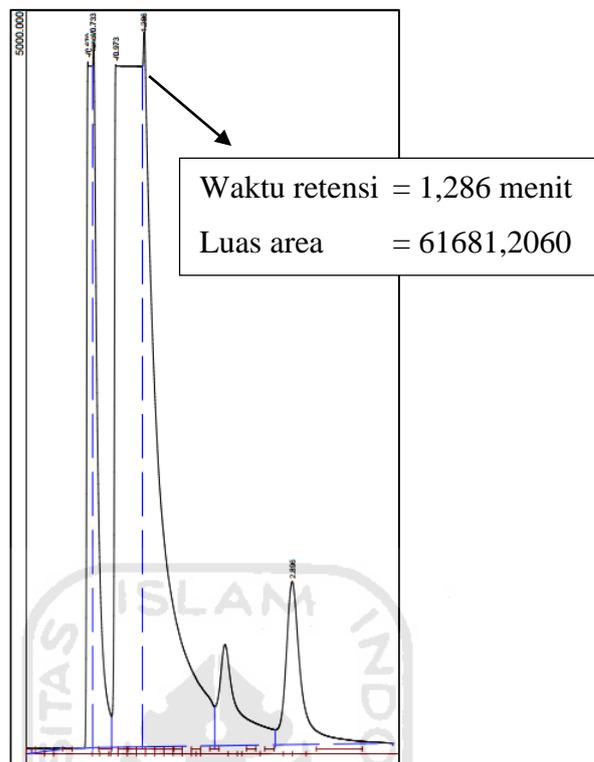
dan 60 menit, sedangkan pada variasi waktu yang lainnya terjadi penurunan. Pada waktu elektrolisis 60 menit diperoleh konsentrasi etanol tertinggi sebesar 1,00940%. Hasil tersebut berbeda jauh dengan hasil yang di peroleh pada tipe elektroda C non-aktivasi., dimana pada tipe elektroda C aktivasi membutuhkan waktu lebih cepat untuk menghasilkan konsentrasi etanol yang maksimal dan hasil yang lebih besar. Hal tersebut terjadi karena pada karbon yang telah diaktivasi memiliki pori-pori yang lebih besar sehingga luas permukaan sentuh dengan CO<sub>2</sub> semakin besar.

## **5.2 Pengaruh Potensial Terhadap Konsentrasi Etanol dari Reduksi Elektrokimia CO<sub>2</sub>**

Proses reduksi elektrokimia dapat berjalan apabila potensial yang diberikan sesuai dengan potensial tegangan yang diberikan. Menurut Kyriacou (1981) salah satu dasar utama yang harus di pertimbangkan untuk melakukan sintesis organik secara reduksi elektrokimia adalah pemilihan potensial sel. Oleh karena itu, potensial berpengaruh terhadap proses elektroreduksi untuk menghasilkan etanol.

Hasil dari reduksi elektrokimia CO<sub>2</sub> dilakukan pengujian menggunakan instrumen kromatografi gas dengan detektor FID. Gambar 5.8 menunjukkan kromatogram etanol 0,1% yang digunakan standar atau pembanding dalam pengujian. Gambar 5.9 menunjukkan salah satu kromatogram KG-FID yang diperoleh dari sampel dengan variasi potensial 3 volt. Pada kromatogram sampel terdapat 1 *peak* pada waktu retensi 1,286 yang diduga sebagai *peak* etanol. Hal tersebut dapat dibuktikan dengan membandingkan kromatogram sampel dan standar etanol 1%. Pada kromatogram sampel menunjukkan bahwa terdapat *peak*

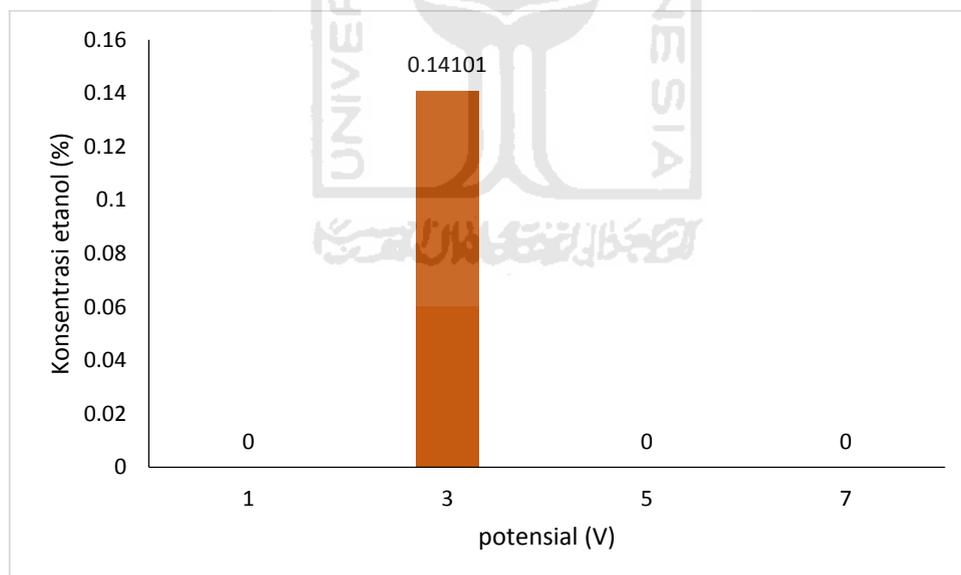
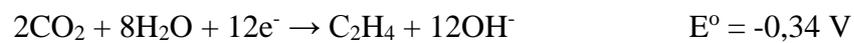




Gambar 5.9 Kromatogram sampel dengan potensial 3 volt

Hasil kromatogram akan memberikan hasil analisis berupa waktu dan luas area. Untuk mengetahui produk yang dihasilkan secara kuantitatif, maka dilakukan perbandingan dengan larutan standar yang disebut sebagai metode standar tunggal. Perbandingan tersebut dilakukan dengan menggunakan larutan etanol standar 0,1%. Berdasarkan Gambar 5.10 menunjukkan hasil kromatogram pengaruh potensial terhadap reduksi elektrokimia  $\text{CO}_2$  dapat di simpulkan dari grafik hasil etanol pada variasi potensial. Grafik tersebut menunjukkan bahwa hanya pada potensial 3 volt yang dapat menghasilkan produk etanol, sedangkan pada pemberian potensial lainnya tidak teridentifikasi etanol. Hal tersebut terjadi karena proses reduksi elektrokimia  $\text{CO}_2$  menjadi etanol sangat spesifik dan hanya terjadi pada  $E^0 = -0,33$  volt. Apabila pemberian potensial terlalu kecil atau terlalu besar maka akan terbentuk produk-produk lain selain etanol. Sehingga, potensial optimum untuk

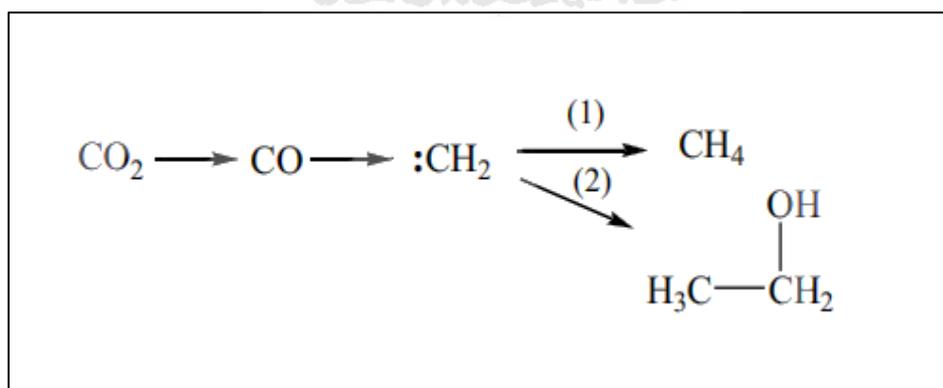
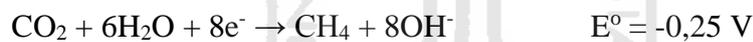
mendapatkan etanol yang maksimal adalah 3 volt. Menurut Li (2010) terdapat beberapa kemungkinan produk yang dapat dihasilkan dari proses reduksi elektrokimia CO<sub>2</sub>, sebagai berikut:



Gambar 5.10 Grafik hasil etanol pada variasi potensial

### 5.3 Pengaruh Laju Alir CO<sub>2</sub> Terhadap Konsentrasi Etanol dari Reduksi Elektrokimia CO<sub>2</sub>

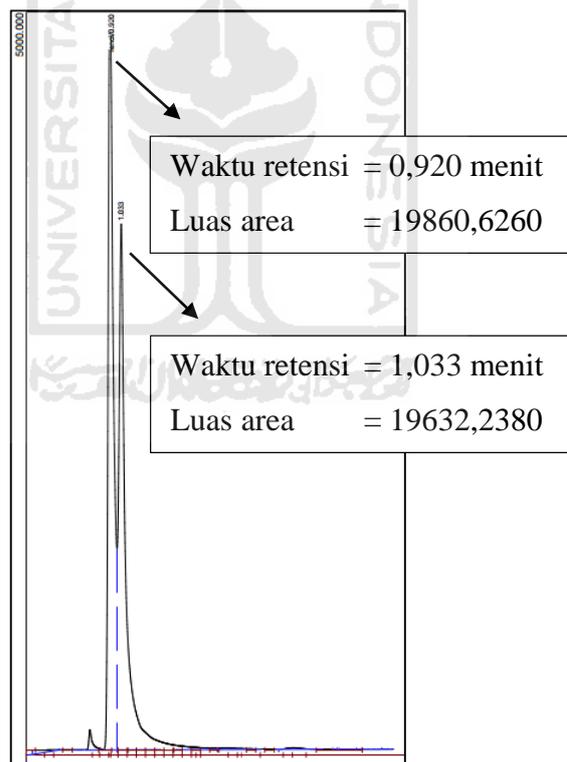
Laju alir CO<sub>2</sub> merupakan kecepatan aliran gas CO<sub>2</sub> yang akan di tangkap oleh larutan elektrolit untuk selanjutnya dilakukan elektrolisis. Pada penelitian ini digunakan 4 variasi laju alir gas CO<sub>2</sub> yaitu 0,5 L/menit, 1 L/menit, 1,5 L/menit dan 2 L/menit. Secara teori, semakin banyak CO<sub>2</sub> yang dialirkan maka semakin banyak CO<sub>2</sub> yang tertangkap oleh larutan elektrolit, dimana kuantitas CO<sub>2</sub> dalam proses reduksi elektrokimia ini menentukan produk yang akan dihasilkan baik dari kuantitas ataupun jenisnya. Hal tersebut sesuai dengan penelitian yang telah dilakukan oleh Fitriani (2012) bahwa terdapat 2 kemungkinan mekanisme untuk membuat produk etanol, dimana mekanisme tersebut bergantung dengan kuantitas CO<sub>2</sub> yang terjerap dalam larutan elektrolit. Menurut Li (2010) reduksi CO<sub>2</sub> mengikuti reaksi sebagai berikut:



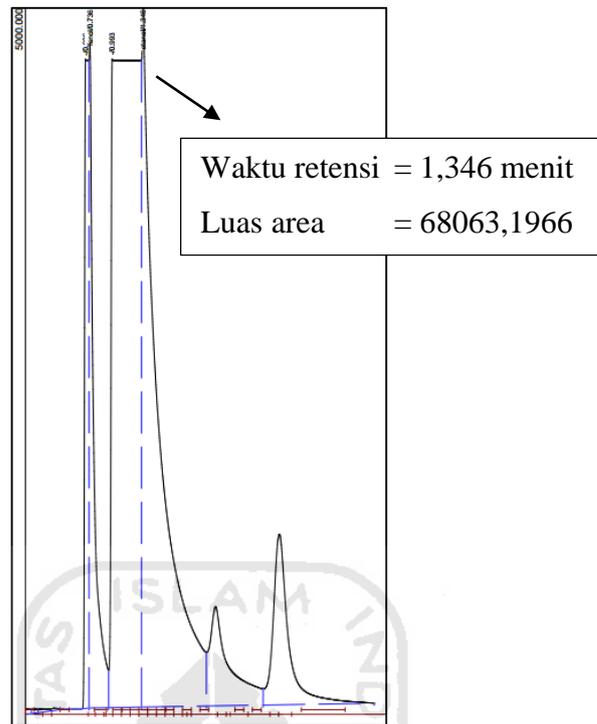
Gambar 5.11 Skema umum reduksi CO<sub>2</sub>

Hasil dari reduksi elektrokimia CO<sub>2</sub> dilakukan pengujian menggunakan instrumen kromatografi gas dengan detektor FID. Gambar 5.12 menunjukkan

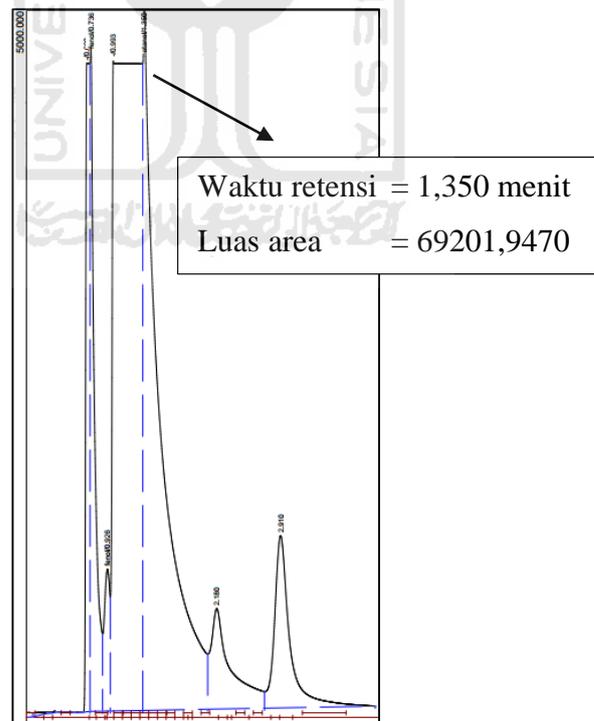
kromatogram etanol 1% yang digunakan standar atau pembanding dalam penentuan konsentrasi etanol dalam sampel. Gambar 5.13 menunjukkan salah satu kromatogram yang diperoleh dari sampel dengan variasi laju alir CO<sub>2</sub> 2L/menit. Pada kromatogram sampel terdapat 1 *peak* pada waktu retensi 1,346 yang diduga sebagai *peak* etanol. Hal tersebut dibuktikan dengan Gambar 5.14 yang merupakan kromatogram campuran antara 4 mL sampel dengan 1 mL etanol standar 1%. Pada kromatogram tersebut menunjukkan bahwa terdapat kenaikan puncak pada *peak* dengan waktu retensi yang mendekati waktu retensi etanol standar. Sehingga dapat dipastikan bahwa sampel mengandung etanol.



Gambar 5.12 Kromatogram standar etanol 1%

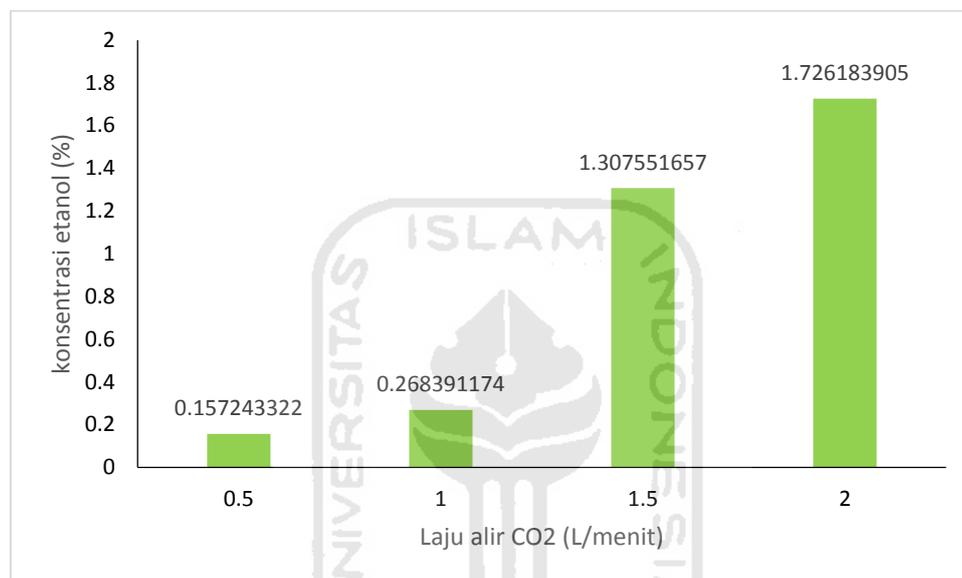


Gambar 5.13 Kromatogram sampel dengan laju alir CO<sub>2</sub> 2 L/menit



Gambar 5.14 Kromatogram sampel dengan laju alir CO<sub>2</sub> 2 L/menit + standar etanol 1%

Gambar 5.15 hasil kromatogram pengaruh laju alir gas CO<sub>2</sub> terhadap reduksi elektrokimia CO<sub>2</sub> dapat di simpulkan dari grafik hasil etanol pada variasi laju alir CO<sub>2</sub>. Berdasarkan grafik tersebut menunjukkan bahwa semakin besar laju alir gas CO<sub>2</sub> maka konsentrasi dari etanol yang diperoleh akan semakin besar.

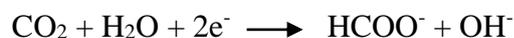


Gambar 5.15 Grafik hasil etanol pada variasi laju alir CO<sub>2</sub>

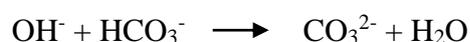
#### 5.4 Pengaruh Konsentrasi Larutan Elektrolit NaHCO<sub>3</sub> Terhadap Etanol Dari Reduksi Elektrokimia CO<sub>2</sub>

Elektrolit adalah substansi yang terdiri dari ion bebas yang berfungsi sebagai media penghantar elektron (Bard *et al.*, dalam Fitriani, 2012) Larutan elektrolit yang digunakan pada penelitian ini adalah NaHCO<sub>3</sub> dengan variasi konsentrasi pada proses elektoreduksi. Pemilihan larutan elektrolit ini didasarkan pada penelitian yang telah dilakukan oleh Hori *et al* (1988). Konsentrasi larutan NaHCO<sub>3</sub> yang digunakan adalah 0,05 M, 0,1 M, 0,15 M dan 0,2 M. Reaksi yang

terjadi oleh spesies  $\text{HCO}_3^-$  yang dihasilkan dari larutan  $\text{NaHCO}_3$  adalah sebagai berikut:



Nilai  $\text{OH}^-$  dapat ditentukan oleh besarnya arus dan distribusi produk yang dihasilkan.  $\text{OH}^-$  yang di produksi pada elektroda akan di netralkan langsung oleh  $\text{HCO}_3^-$ .

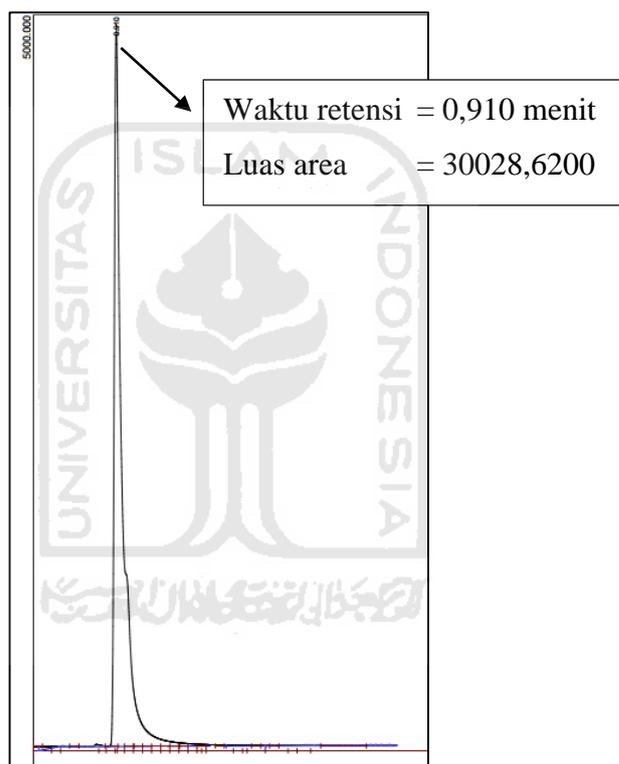


Dalam reduksi elektrokimia, jumlah elektron yang digunakan merupakan hal yang penting. Pada umumnya potensial redoks suatu reaksi akan semakin negatif apabila melibatkan banyak elektron atau *multielectronic pathways*. Potensial reduksi  $\text{CO}_2/\text{CO}_2^-$  adalah -2,21 Vs SCE, nilai ini lebih negatif jika dibandingkan dengan potensial reduksi  $\text{CO}_2$  yang melibatkan banyak elektron. Hal ini menyebabkan reduksi  $\text{CO}_2$  dengan satu elektron jarang terjadi.

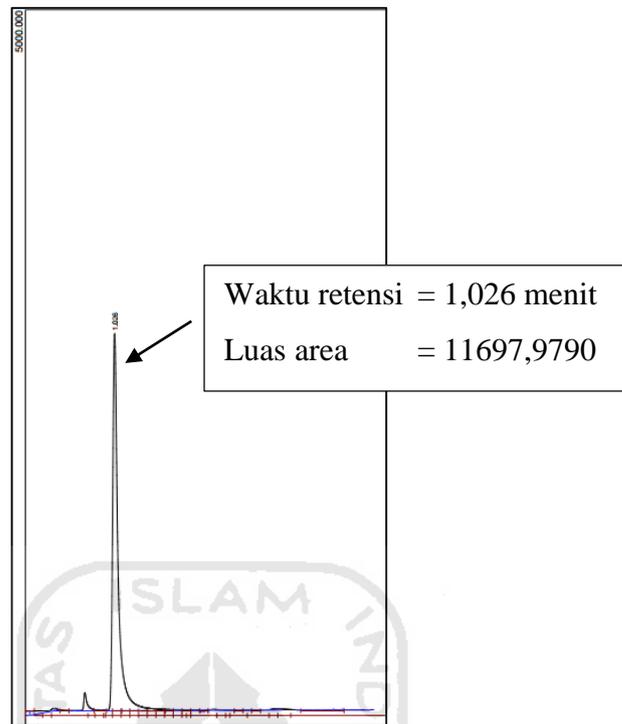
Reduksi elektrokimia dipengaruhi oleh beberapa faktor diantaranya adalah larutan elektrolit.  $\text{NaHCO}_3$  digunakan sebagai larutan elektrolit karena mengandung kation logam alkali yang berukuran kecil (bersifat hidrofilik) sehingga tidak teradsorpsi pada permukaan elektroda karena lingkungan hidrasinya. Hal ini dapat meningkatkan efisiensi arus pada reduksi elektrokimia  $\text{CO}_2$  (Kyriacou, 1981).

Hasil reduksi elektrokimia  $\text{CO}_2$  pada penelitian ini berupa  $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$  oleh karena itu dilakukan pengujian sampel cair dengan KG-FID. Gambar 5.16 menunjukkan kromatogram etanol 1% yang digunakan standar atau pembanding dalam pengujian. Gambar 5.17 menunjukkan salah satu kromatogram KG-FID yang diperoleh dari sampel dengan variasi konsentrasi larutan elektrolit 0,05 M.

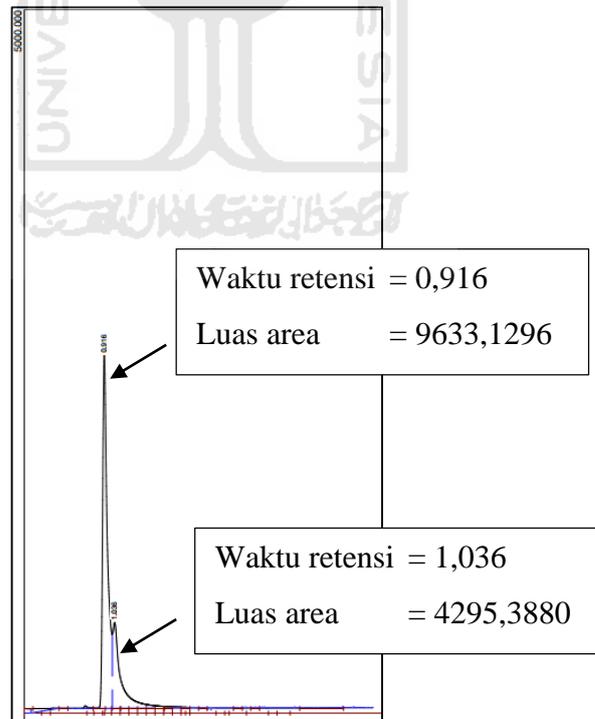
Terdapat 1 *peak* pada waktu retensi 1,026 yang diduga sebagai *peak* etanol. Hal tersebut dibuktikan dengan Gambar 5.18 yang merupakan kromatogram campuran antara 4 mL sampel dengan 1 mL etanol standar 1%. Pada kromatogram tersebut menunjukkan bahwa terdapat kenaikan puncak pada *peak* dengan waktu retensi yang mendekati waktu retensi etanol standar. Sehingga dapat dipastikan bahwa sampel mengandung etanol.



Gambar 5.16 Kromatogram etanol standar 1%

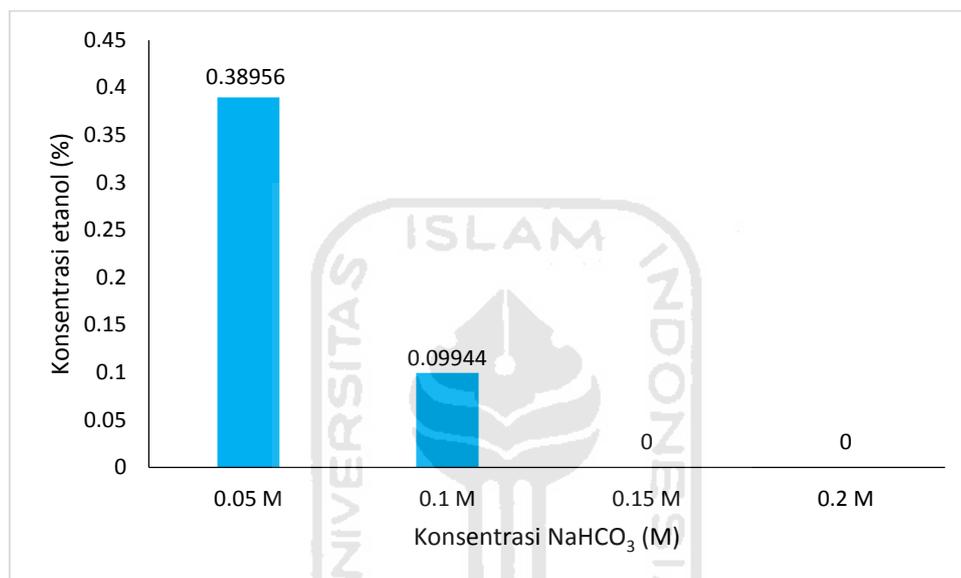


Gambar 5.17 Kromatogram sampel dengan konsentrasi larutan  $\text{NaHCO}_3$  0,05 M



Gambar 5.18 Kromatogram sampel dengan konsentrasi larutan  $\text{NaHCO}_3$  0,05 M + standar etanol 1%

Hasil kromatogram akan memberikan hasil analisis berupa waktu dan luas area. Untuk mengetahui produk yang dihasilkan secara kuantitatif, maka dilakukan perbandingan dengan larutan standar yang disebut sebagai metode standar tunggal. Perbandingan tersebut dilakukan dengan menggunakan larutan etanol standar 1%.

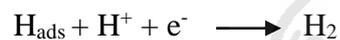
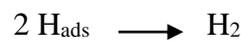
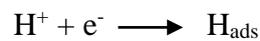


Gambar 5.19 Grafik hasil etanol pada variasi konsentrasi  $\text{NaHCO}_3$

Hasil kromatogram reduksi elektrokimia  $\text{CO}_2$  pada  $\text{NaHCO}_3$  dapat disimpulkan pada Gambar 5.19 yang menunjukkan grafik hasil etanol pada variasi konsentrasi larutan  $\text{NaHCO}_3$ . Berdasarkan grafik tersebut terlihat bahwa semakin rendah konsentrasi  $\text{NaHCO}_3$  maka konsentrasi etanol yang diperoleh semakin tinggi. Pada konsentrasi 0,05 M  $\text{NaHCO}_3$  diperoleh konsentrasi etanol tertinggi sebesar 0,38956%. Hal ini dikarenakan pada larutan  $\text{NaHCO}_3$  yang encer pelepasan  $\text{OH}^-$  pada permukaan elektroda tidak dapat dinetralkan dan menyebabkan kenaikan pH yang drastis pada permukaan elektroda. Kenaikan pH ini menyebabkan

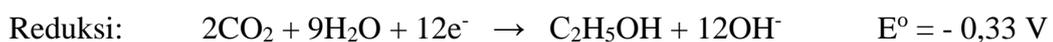
kenaikan reduksi  $H^+$  berkurang dan reduksi  $CO_2$  akan lebih memungkinkan untuk terjadi (Hori *et al.*, 1988).

Hori *et al.*, (1989) dalam percobaan reduksi CO dengan menggunakan elektroda Cu menunjukkan bahwa peningkatan  $CH_4$  selalu diikuti dengan peningkatan produksi hidrogen yaitu pada larutan  $KHCO_3$  pekat, sedangkan alkohol lebih cenderung terbentuk pada larutan  $KHCO_3$  encer.

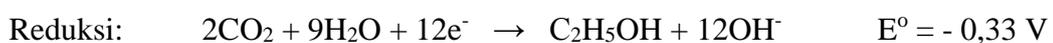


Pembentukan  $C_2H_5OH$  lebih mudah pada  $NaHCO_3$  encer dimungkinkan karena  $CH_{2ads}$  yang merupakan fasa intermediet pada reduksi  $CO_2$  akan cenderung bereaksi dengan CO dibandingkan dengan spesi hidrogen, karena jumlah CO pada permukaan elektroda lebih banyak dibandingkan dengan spesi hidrogen. Reaksi  $CH_{2ads}$  dengan CO akan menghasilkan  $CH_2=C=O_{ads}$  yang kemudian tereduksi lebih lanjut menjadi  $C_2H_5OH$  (Hori *et al.*, 1989).

Reaksi yang terjadi pada reduksi elektrokimia  $CO_2$  menjadi  $C_2H_5OH$  adalah sebagai berikut:



Untuk menyetarakan elektron pada masing-masing elektroda menjadi 12 maka reaksi yang terjadi pada anoda dikalikan 3, sehingga:





Terdapat beberapa variasi yang tidak terdeteksi  $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$  karena terjadi oksidasi lebih lanjut dari produk  $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$  etanol yang dihasilkan. Filho *et al.*, (1998) dalam Riyanto (2013) menyatakan bahwa oksidasi secara elektrokimia alkohol dalam larutan alkali dapat menghasilkan asam asetat melalui reaksi seperti berikut:



Menurut Riyanto (2013) reaksi keseluruhan dari oksidasi elektrokimia etanol menjadi asam asetat dapat dituliskan seperti berikut:



## **BAB VI**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **6.1 Kesimpulan**

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, maka dapat diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Waktu elektrolisis mempengaruhi konsentrasi etanol hasil reduksi elektrokimia CO<sub>2</sub>, dimana waktu optimum adalah 60 menit dengan konsentrasi etanol yang dihasilkan sebesar 1,00940%.
2. Potensial mempengaruhi spesifikasi produk hasil dari reduksi elektrokimia CO<sub>2</sub>, dimana potensial optimumnya adalah 3 volt dengan konsentrasi etanol yang dihasilkan sebesar 0,14101%.
3. Laju alir gas CO<sub>2</sub> mempengaruhi konsentrasi etanol yang diperoleh, dimana semakin besar laju alir gas CO<sub>2</sub> maka konsentrasi etanol semakin besar dengan konsentrasi etanol maksimal yang dihasilkan sebesar 1,72618%.
4. Konsentrasi larutan elektrolit NaHCO<sub>3</sub> mempengaruhi konsentrasi etanol, dimana semakin encer larutan NaHCO<sub>3</sub> maka konsentrasi etanol semakin besar dengan konsentrasi etanol maksimal yang dihasilkan sebesar 0,99944%.

#### **6.2 Saran**

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, maka peneliti menyarankan beberapa hal sebagai berikut:

1. Perlu dilakukan pengujian kemurnian dari elektroda-elektroda yang akan digunakan.

2. Perlu dilakukan pengujian produk dengan instrumen lainnya seperti GC-MS dan FTIR.
3. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai parameter yang diteliti dalam reduksi elektrokimia CO<sub>2</sub> seperti suhu dan pH.



## DAFTAR PUSTAKA

- Ali, I., Ullah, N., and Omanovic, S., 2014, Electrochemical Conversion of CO<sub>2</sub> into Aqueous-phase Organik Molecules Employing a Copper Electrode, *Int. J. Electrochem*, 9, 7198-7205.
- Azuma, M., Hasimoto, K., Watanabe, M., and Sakata, T., 1990, Electrochemical Reduction of Carbon Dioxide to Higher Hydrocarbon in a KHCO<sub>3</sub> aqueous-solution. *Journal of Electroanalytical Chemistry*, 294, 299-303.
- Barton, E.E., and Bocarsly, A.B., 2008, Photoelectrochemical and Electrochemical Conversion of Carbon Dioxide to Methanol and Higher Order Products Mediated by Pyridinium Based Electrocataysts, *J. Am. Chem. Soc*, 130, 6342-6349.
- Centi, G., and Siglinda, P., 2009, Opportunities and Prospects in the Chemical Recycling of Carbon Dioxide to Fuels, *Catalysys Today*, 148, 191-205.
- Chang, T.Y., R.M. Liang, P.W. Wu, J.Y. Chen and Y.C. Hsieh., 2009, Electrochemical Reduction of CO<sub>2</sub> by Cu<sub>2</sub>O-Catalyzed Carbon Clothes, *Materials Letters* 63: 1001-1003.
- Chen, C.S., Wan, J.H., and Yeo, B.S., 2015, Electrochemical Reduction of Carbon dioxide to Ethane Using Nanostructured Cu<sub>2</sub>O-Derived Copper Catalyst and Palladium (II) Chloride, *J. Physical Chemistry*.
- Chiericato, G.J.R., Arana, C.R., Casado, C., Cuadrado, I., and Abruna, H.D., 2000, Electrocatalytic Reduction of Carbon Dioxide Mediated by Transition Metal Complexes with Terdentate Ligand Derivide From Diacetyl-Pyridine. *Inorganic Chemistry Acta*, 300-302.
- Conway, B.E., 1986, Same Aspects of Anodic Oxidation of Organik Compounds, *Rev. Pure. Appl.Chem.*, 18, 105-124.
- Fan, L., and Kaoru, F., 1993, Development of An Active and Stable Ceria-Supported Palladium Catalyst for Hydrogenation of Carbon Dioxide to Methanol, *Applied Catalysis A*, 106, L1-L7.
- Fitriani, L., 2012, *Studi Reaksi Reduksi CO<sub>2</sub> dengan Metode Elektrokimia Menggunakan Elektroda Cu*, Skripsi, Universitas Indonesia, Depok.

- Frese, K.W., 1991, Electrochemical Reduction of CO<sub>2</sub> at Intentionally Oxidized Copper Electrodes, *Journal of Electrochemical Society* 138 (11): 3338-3344.
- Frese, K.W., Leach, S.C., and Summers, D.P., *Electrochemical Reduction of Aqueous Carbon Dioxide to Methanol*, United States Patent 4609441.
- Freund, H.J., and Robert, M.W., 1996, Surface Chemistry of Carbon Dioxide, *Surface Science Report*, 25, 225-227.
- Hara, K., Akihiko, K., and Tadayoshi, S., 1995, Electrochemical reduction of high pressure carbon dioxide on Fe electrodes at large current density *Journal of Electroanalytical Chemistry*, 386: 1-2, 257-260.
- Harmita, 2006, *Analisis Kuantitatif Bahan Baku dan Sediaan Farmasi*. Depok: Departemen Farmasi FMIPA Universitas Indonesia, 157-165.
- Hori, Y., Murata, A., Takashi, R., and Suzuki, S., 1986, Electroreduction of CO to CH<sub>4</sub> at Copper Electrode in Aqueous Solutions at Ambient Temperature and Pressure, *J.Am.Chem.Soc.*, 109: 5022-5023.
- Hori, Y., Murata, A., Takashi, R., and Suzuki, S., 1988, Enhanced Formation of Ethylene and Alcohols at Ambient Temperature and Pressure in Electrochemical Reduction of Carbon Dioxide at a Copper Electrode, *J.Chem.Soc.Chem.Comm.*
- Hori, Y., Murata, A., and Takashi, R., 1989, Formation of Hydrocarbons in the Electrochemical Reduction of Carbon Dioxide at a Copper Electrode in Aqueous Solution, *J.Chem.Soc.*, 85: 2309-2326.
- Huang, M., Peter, W., and Faguy, 1996, Carbon Dioxide Reduction on Platinum|Nafion<sup>®</sup>|Carbon Electrodes, *J.Electroanalytical Chemistry*, 426, 219-222.
- Jitaru, M., 2007, Electrochemical Carbon dioxide reduction-fundamental and applied topics (review), *J. Univ. Chem. Tech. Met.* 42(4):333-344.
- Joseph, J.K., and Joseph, L.G., 1997, *Practical HPLC Metode Development 3<sup>rd</sup> Edition*, New York: John Wiley and Sons Inc.
- Kaneco, S., Kenji Iiba, Nobu-hide Hiei, Kiyohisa Ohta, Takayuki Mizuno, and Tohru Suzuki, 1999, Electrochemical reduction of carbon dioxide to ethylene with high Faradaic efficiency at a Cu electrode in CsOH/methanol, *Electrochimica Acta*, (44):26, 4701-4706.

- Kaneco, S., Kenji Iiba, Kiyohisa Ohta, Takayuki Mizuno, and Akira Saji, 1998, Electrochemical reduction of CO<sub>2</sub> at an Ag electrode in KOH-methanol at low temperature, *Electrochimica Acta*, (44):4,573-578.
- Kaneco, S., Yabuuchi, M., Katsumata, H., Suzuki, T., and Ohta, K., 2002, Electrochemical Reduction of CO<sub>2</sub> to Methane in Methanol at Low Temperature, *Fuel Chemistry Division Preprints*, 47(1), 71-73.
- Kissinger, P.T., and Heineman, W.R., 1996, *Laboratory Techniques in Electroanalytical Chemistry Second Edition*, New York: Marcel Dekker Inc.
- Kortlever, R., Shen, J., Klass, J.P., Schouten, Calle-Vallejo, F., and Koper, M.T.M., 2015, Catalysts and Reaction Pathways for the Electrochemical Reduction of Carbon Dioxide, *J.Phys.Chem.Lett.*
- Krist, K., Pelatine, Sammells, A.F., and Naperville, 1991, *Electrochemical Conversion of CO<sub>2</sub> and CH<sub>4</sub> to C<sub>2</sub> Hydrocarbons in a Single Cell*, US Patent 5064733.
- Kyriacou, D.K., 1981, *Basics of Electroorganic Synthesis*, New York: John Willey and Sons.
- Li, W. 2010. Electrocatalytic Reduction of CO<sub>2</sub> to Small Organic Molecule Fuels on Metal Catalysts. *ACS Symposium Series; American Chemical Society.*
- Lund, H., and Hammerich, O., 2001, *Organik Electrochemistry Fourth Edition, Revised and Expanded*, New York: Marcel Dekker Inc.
- Maria, J., 2007, Electrochemical Carbon Dioxide Reduction-Fundamental and Applied Topics (Review), *J. The University of Chemical Technology and Metallurgy*, 42, 333-344.
- McNair, H.M., dan Miller, J.M., 2009, *Basic Gas Chromatography*, Canada: John Wiley and Sons Inc.
- Naitoh, K., Ohta, T., Mizuno, H., Yoshinda, M., Sakai, H., and Noda, 1993, Electrochemical Reduction of Carbon Dioxide in Methanol at Low Temperature, *Electrochemical Acta*, 15, 2177-2179.
- Nallas, G.N.A., and Brewer, K.J., 1996, Electrocatalytic Reduction of Carbon Dioxide by Mixed-Material Trimetallic Complexes of The Form  $\{[(bpy)_2Ru(BL)_2IrCl_2]\}^{5+}$  where bpy = 2,2'-bipyridine and BL = 2,3-bis(2-

- pyridyl)quinoxaline (dpq) or 2,3-bis(2-[yridil)benzoquinoxaline (dpb). *Inorganik Chimica Acta*, 253, 7-13.
- Ogura, K., and Ichiro, Y., 1986, Electrocatalytic Reduction of Carbon Dioxide to Methanol in the Presence of 1,2-dihydroxybenzene-3,5-disulphonatoferrate (III) and Etanol, *J.Moleular Catalyst*, 34, 67-72.
- Ohkawa, K., Moguchi, Y., Nakayama, S., Hashimoto, K., and Fujishima, A., 1994, Electrochemical Reduction of Carbon Dioxide on Hydrogen-Storing Materials, *J.Electroanal, Chem*, 367, 165-173.
- Ohta, K., Hasimoto, A., and Mizuno, T., 1995, Electrochemical Reduction of Carbon Dioxide by The Use of Copper Tube Electrode. *Energy Convers*, 36, 625-628.
- Olah, G.A., and Prakash S., 2009, *Efficient and Selective Chemical Recycling of Carbon Dioxide to Methanol, Dimethyl Eter and Derived products* , US Patent 7608743B2.
- Onuki, S., Koziel, J., Van Leeuwen, W.S., Jenks, D. A., Grewell, and L. Cai., 2008. *Ethanol Production, Purification, and Analysis Techniques: A Review*, An ASABE Meeting Presentation Paper Number: 085136.
- Pangestu, H., 2015, *Konversi Gas Karbon Dioksida (CO2) dengan Metode Elektroreduksi Menggunakan Elektroda Karbon*, Skripsi, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.
- Pettinicchi, S., Boggetti, H., Lopez de Mishima, B.A., Mishima, H.T., Rodriguez, J. and Pastor, E., 2003, Electrochemical Reduction of Carbon Dioxida on Copper Alloy, *J. Argen. Chem. Soc.*, 91(1/3), 107-118.
- Popic, J., Avramov-Ivic, M.L., and Vukovic, N.B., 1997, Reduction of Carbon Dioxide on Rutherfordium Oxide and Modified Ruthenium Oxide Electrodes in 0,5 M NaHCO<sub>3</sub>, *J.Electroanalytical Chemistry*, 421, 105-110.
- Riyanto, 2013, *Elektrokimia dan Aplikasinya*, Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Scibioh, M.A., and Viswanathan, B., 2004, *Electrochemical Reduction of Carbon Dioxide: Status Report*, Pro Indian Natn Sci Acad.
- Sevcik, J., 1976, Detectors in Gas Chromatography, *J.Chromatograph*, 4, 39-188.

- Skoog, D.A., Donald, M., West, F., and James, H., 2000, *Analytical Chemistry Seventh Edition*, Saunders College Publishing.
- Soedomo, M., 2001, *Pencemaran Udara*, Bandung: ITB Bandung.
- Strahler, N., and Artur, A.H., 1973, *Environmental Geoscience: International between Natural Science and Man*, New York: Wiley International edition.
- Summers, D.P., Steven, L., Karl, W., and Frese, J.R., 1986, The Electrochemical Reduction of Aqueous Carbon Dioxide to Methanol at Molybdenum Electrodes with Low Overpotentials, *J. Electroanalytical Chemistry*, 2015, 219-232.
- Tribidasari, A.I., 2011, *Elektrokimia*, Jakarta: UI Press.
- Umar, R., 2012, *Anodik Stripping Voltametry pada As(III) dan As(V) dengan Elektroda Glassy Carbon dan Screen Printed Electrode Termodifikasi Nanopartikel Emas*, Skripsi, Universitas Indonesia, Depok.
- Yazid, E., 2005, *Kimia Fisika untuk Paramedis*, Yogyakarta: Penerbit Andi.
- Zhang, R., Weixin, Lv., Guanghua, and Lian Lixu, L., 2014, Electrochemical Reduction of CO<sub>2</sub> on SnO<sub>2</sub>/Nitrogen-doped Multiwalled Carbon Nanotubes Composites in KHCO<sub>3</sub> Aqueous Solution, *Materials Letters*, 141, 63-66.

## Lampiran 1. Penentuan konsentrasi etanol yang dihasilkan

Penentuan konsentrasi etanol yang dihasilkan dapat digunakan metode perhitungan standar tunggal, dengan rumus sebagai berikut:

% konsentrasi etanol sampel

$$= \frac{\text{luas area etanol sampel}}{\text{luas area etanol standar}} \times \text{konsentrasi etanol standar}$$

### 1.1 Pengaruh waktu elektrolisis terhadap konsentrasi etanol

#### 1.1.1 Elektroda C non-aktivasi

a. Sampel 30 menit

$$\begin{aligned} \text{konsentrasi etanol} &= \frac{2386,3078}{30011,3859} \times 1\% \\ &= 0,079513\% \end{aligned}$$

b. Sampel 60 menit

$$\begin{aligned} \text{konsentrasi etanol} &= \frac{3611,4507}{30011,3859} \times 1\% \\ &= 0,12033\% \end{aligned}$$

c. Sampel 90 menit

$$\begin{aligned} \text{konsentrasi etanol} &= \frac{7640,7446}{30011,3859} \times 1\% \\ &= 0,25459\% \end{aligned}$$

d. Sampel 120 menit

$$\text{konsentrasi etanol} = \frac{18742,0596}{30011,3859} \times 1\%$$

$$= 0,62449 \%$$

e. Sampel 150 menit

$$\begin{aligned} \text{konsentrasi etanol} &= \frac{1895,4867}{30011,3859} \times 1\% \\ &= 0,06316\% \end{aligned}$$

### 1.1.2 Elektroda C aktivasi

a. Sampel 30 menit

$$\begin{aligned} \text{konsentrasi etanol} &= \frac{31311,8567}{44851,6903} \times 1\% \\ &= 0,69812\% \end{aligned}$$

b. Sampel 60 menit

$$\begin{aligned} \text{konsentrasi etanol} &= \frac{45273,1440}{44851,6903} \times 1\% \\ &= 1,00939\% \end{aligned}$$

c. Sampel 90 menit = tidak terdeteksi

d. Sampel 120 menit

$$\begin{aligned} \text{konsentrasi etanol} &= \frac{1485,5834}{44851,6903} \times 1\% \\ &= 0,03312\% \end{aligned}$$

e. Sampel 150 menit

$$\begin{aligned} \text{konsentrasi etanol} &= \frac{2301,8584}{44851,6903} \times 1\% \\ &= 0,05132\% \end{aligned}$$

### 1.2 Pengaruh potensial terhadap konsentrasi etanol

- a. Sampel 1 volt = tidak terdeteksi  
 b. Sampel 3 volt

$$\begin{aligned} \text{konsentrasi etanol} &= \frac{110439,8944}{43741,2388} \times 0,1\% \\ &= 0,14101\% \end{aligned}$$

- c. Sampel 5 volt = tidak terdeteksi  
 d. Sampel 7 volt = tidak terdeteksi

### 1.3 Pengaruh laju alir terhadap konsentrasi etanol

- a. Sampel 0,5 L/menit

$$\begin{aligned} \text{konsentrasi etanol} &= \frac{6200,0828}{39429,864} \times 1\% \\ &= 0,15724\% \end{aligned}$$

- b. Sampel 1 L/menit

$$\begin{aligned} \text{konsentrasi etanol} &= \frac{10582,6275}{39429,864} \times 1\% \\ &= 0,26839\% \end{aligned}$$

- c. Sampel 1,5 L/menit

$$\begin{aligned} \text{konsentrasi etanol} &= \frac{51556,5840}{39429,864} \times 1\% \\ &= 1,30755\% \end{aligned}$$

d. Sampel 2 L/menit

$$\begin{aligned}\text{konsentrasi etanol} &= \frac{68063,1966}{39429,864} \times 1\% \\ &= 1,72618\%\end{aligned}$$

#### 1.4 Pengaruh konsentrasi larutan elektrolit $\text{NaHCO}_3$ terhadap konsentrasi etanol

a. Sampel 0,05 M

$$\begin{aligned}\text{konsentrasi etanol} &= \frac{11697,9790}{30028,6200} \times 1\% \\ &= 0,38956\%\end{aligned}$$

b. Sampel 0,1 M

$$\begin{aligned}\text{konsentrasi etanol} &= \frac{2991,4498}{30028,6200} \times 1\% \\ &= 0,09944\%\end{aligned}$$

c. Sampel 0,15 M = tidak terdeteksi

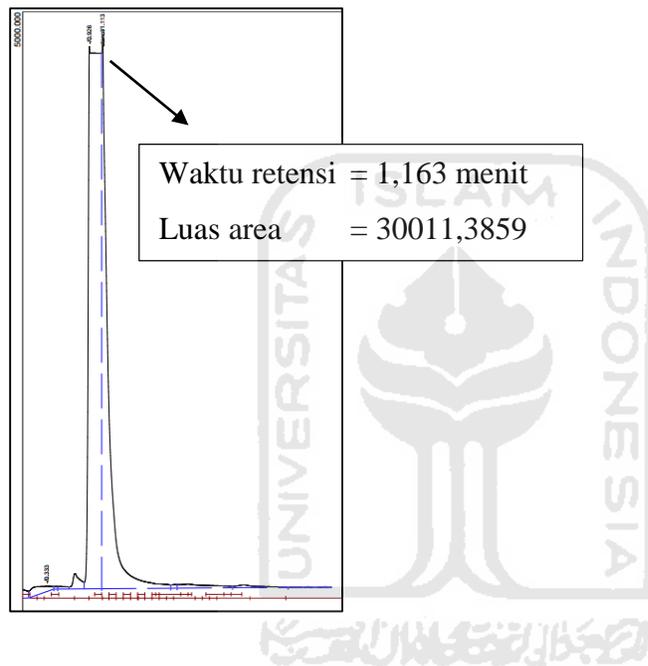
d. Sampel 0,2 M = tidak terdeteksi

## Lampiran 2. Kromatogram hasil reduksi elektrokimia CO<sub>2</sub>

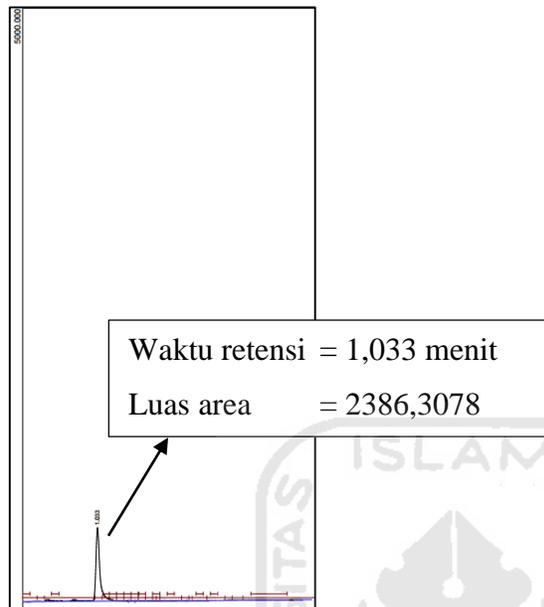
### 2.1 Pengaruh waktu elektrolisis terhadap hasil reduksi elektrokimia CO<sub>2</sub>

#### 2.1.1 Elektroda non-aktivasi

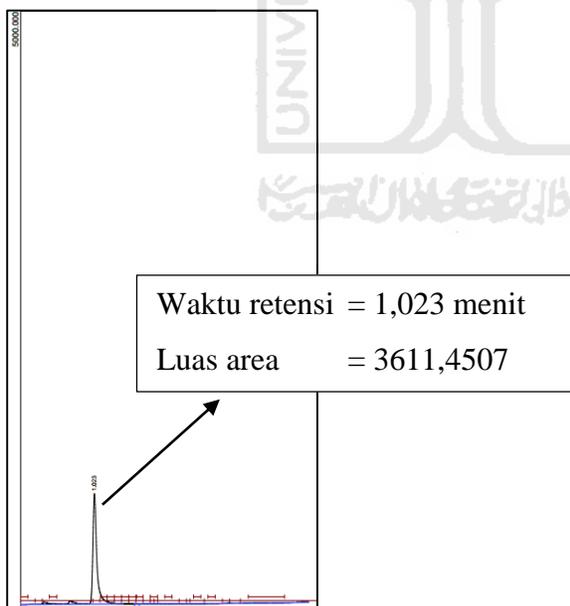
##### 1. Kromatogram standar etanol 1%



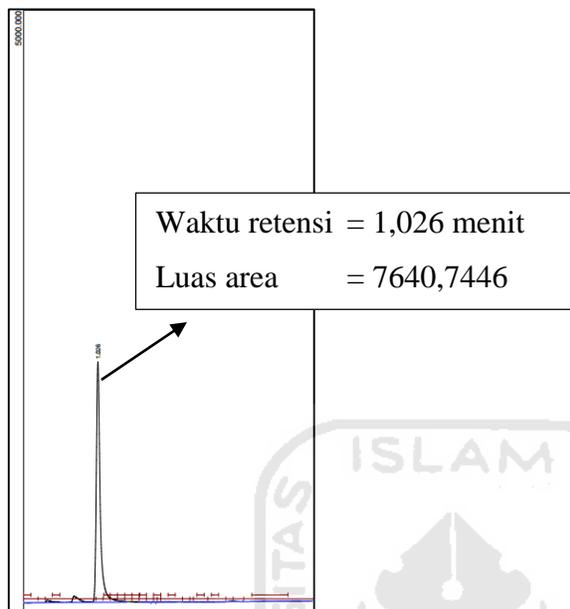
## 2. Kromatogram sampel 30 menit



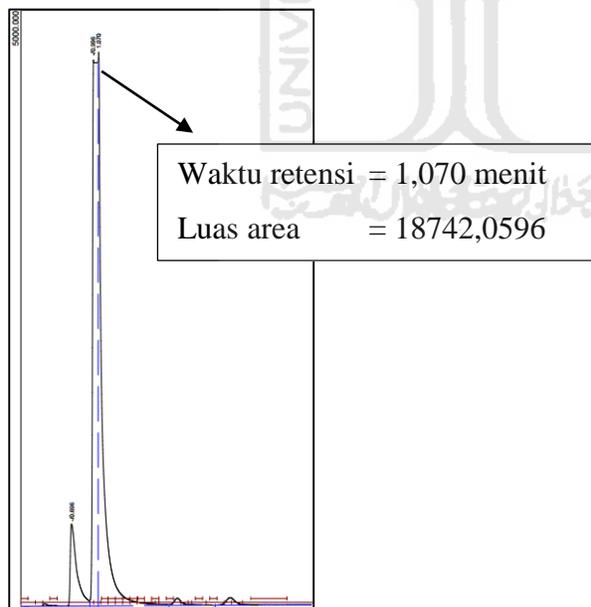
## 3. Kromatogram sampel 60 menit



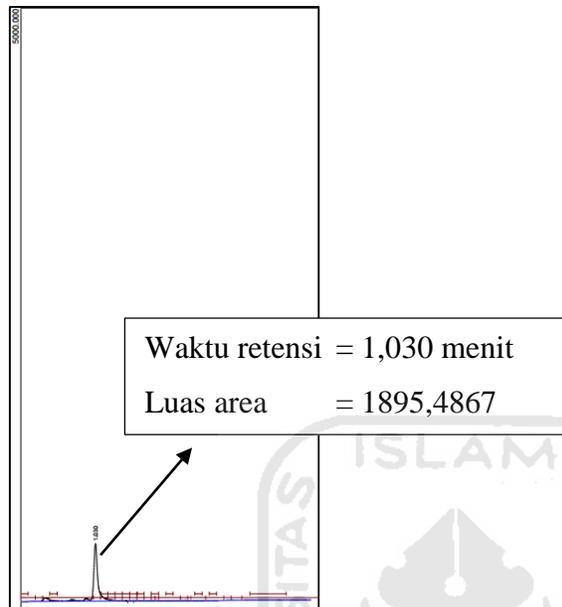
## 4. Kromatogram sampel 90 menit



## 5. Kromatogram sampel 120 menit

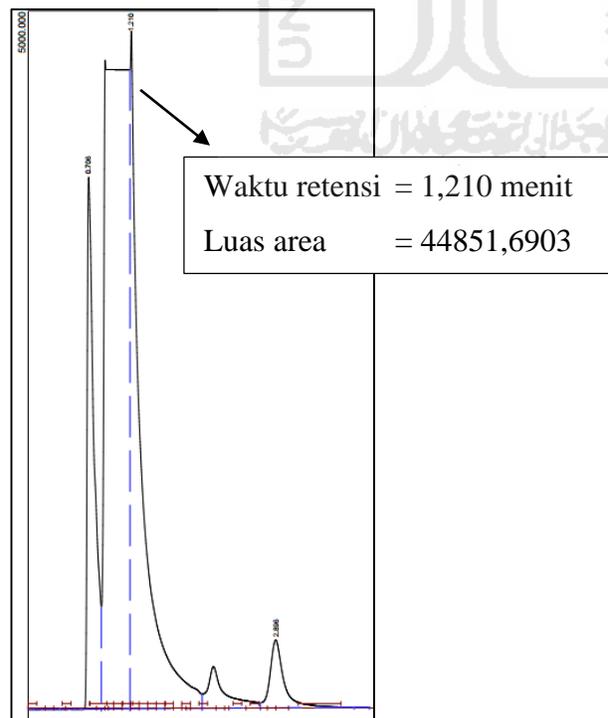


## 6. Kromatogram sampel 150 menit

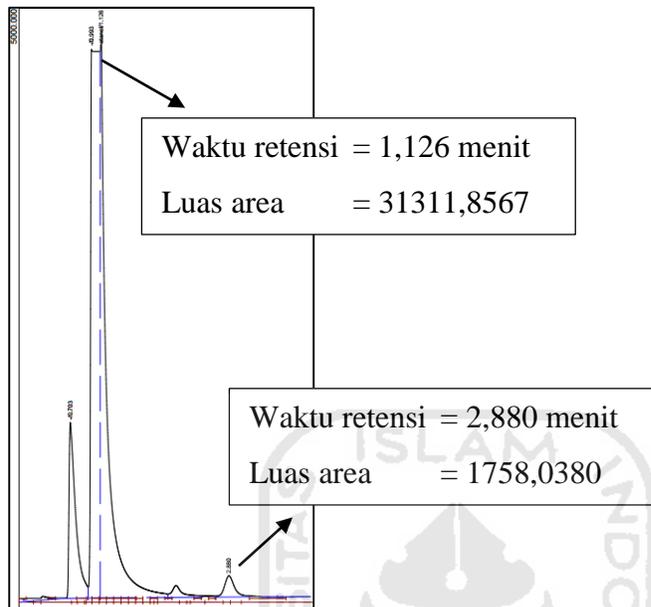


## 2.1.2 Elektroda non-aktivasi

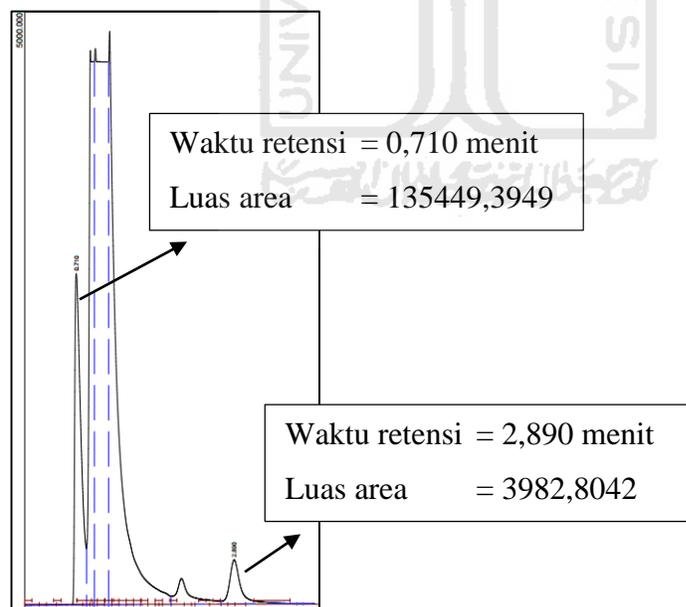
### 1. Kromatogram standar etanol 1%



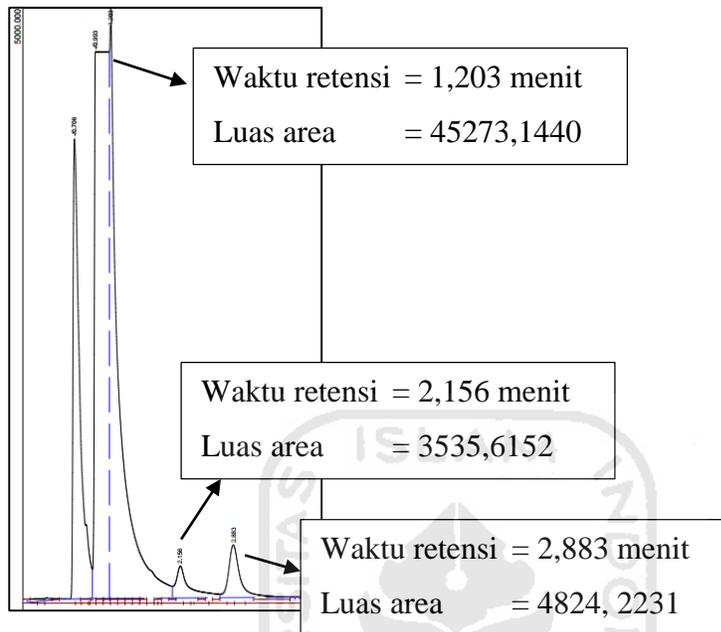
## 2. Kromatogram sampel 30 menit



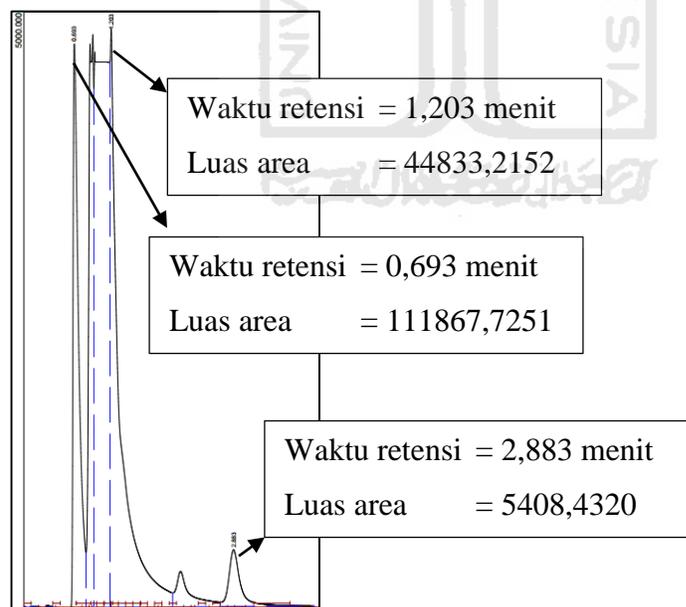
## 3. Kromatogram sampel 30 menit + standar etanol 1%



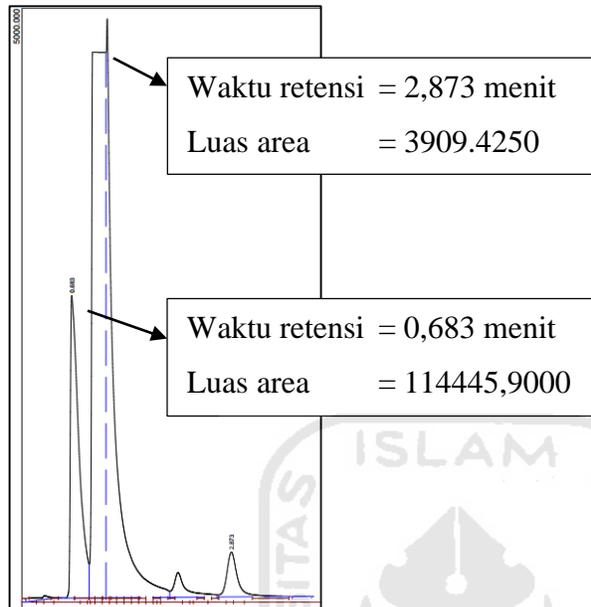
## 4. Kromatogram sampel 60 menit



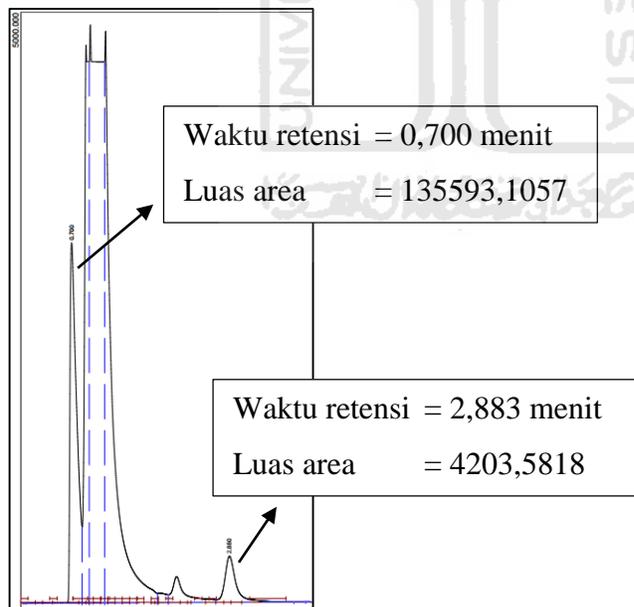
## 5. Kromatogram sampel 60 menit + standar etanol 1%



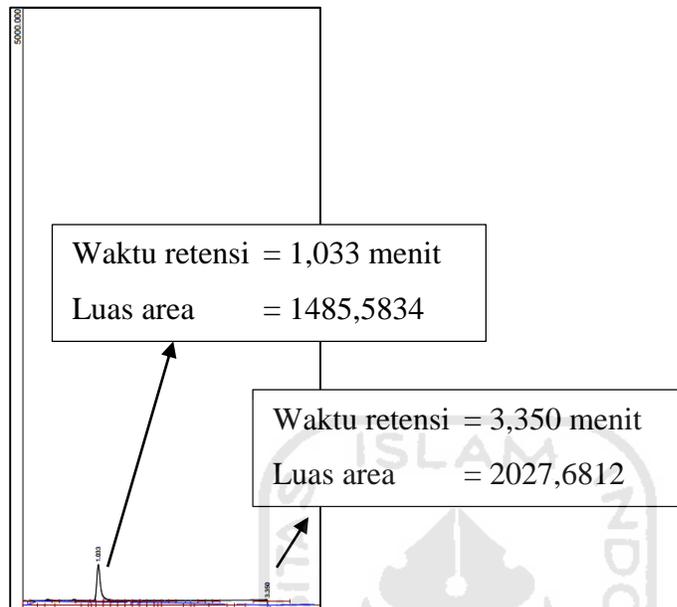
## 6. Kromatogram sampel 90 menit



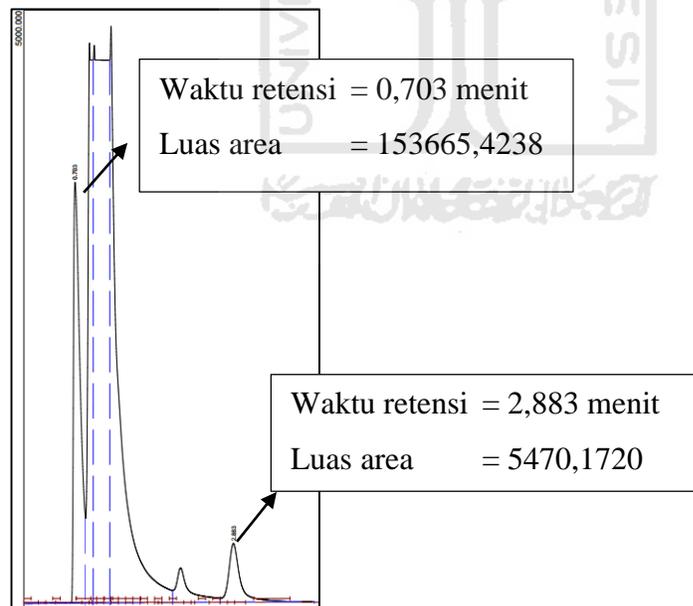
## 7. Kromatogram sampel 90 menit + standar 1%



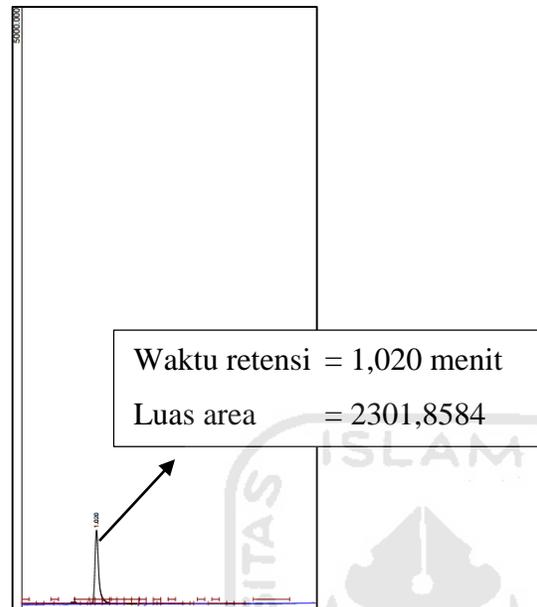
## 8. Kromatogram sampel 120 menit



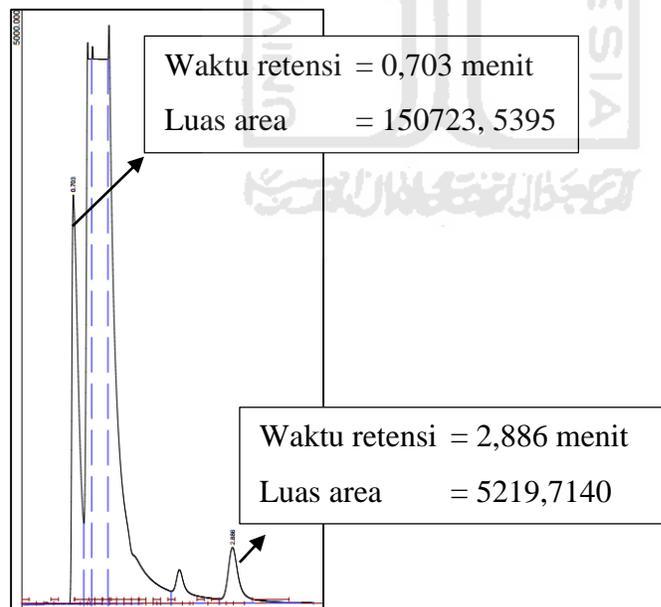
## 9. Kromatogram sampel 120 menit + standar etanol 1%



## 10. Kromatogram sampel 150 menit

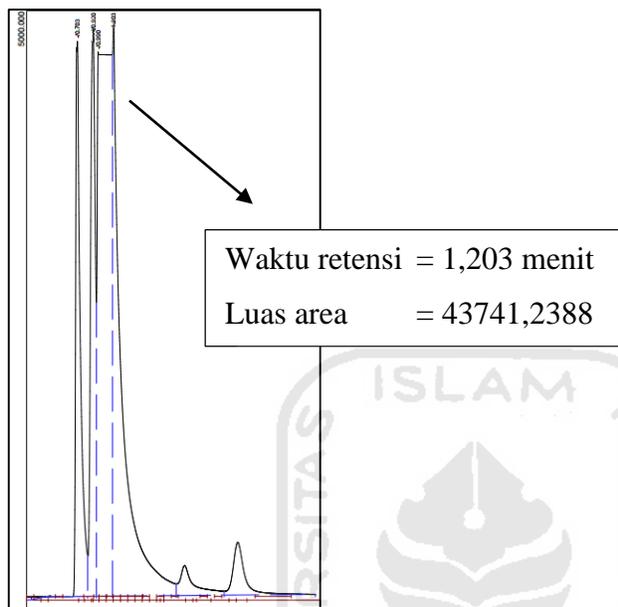


## 11. Kromatogram sampel 150 menit + standar etanol 1%

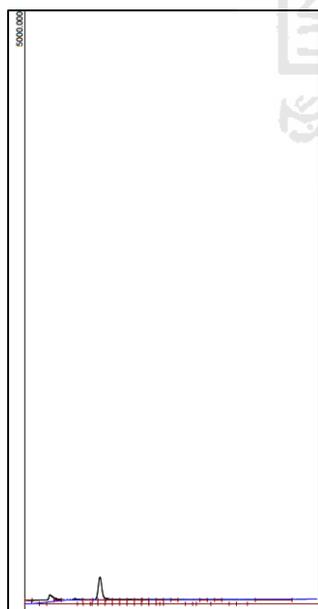


## 2.3 Pengaruh potensial terhadap hasil reduksi elektrokimia CO<sub>2</sub>

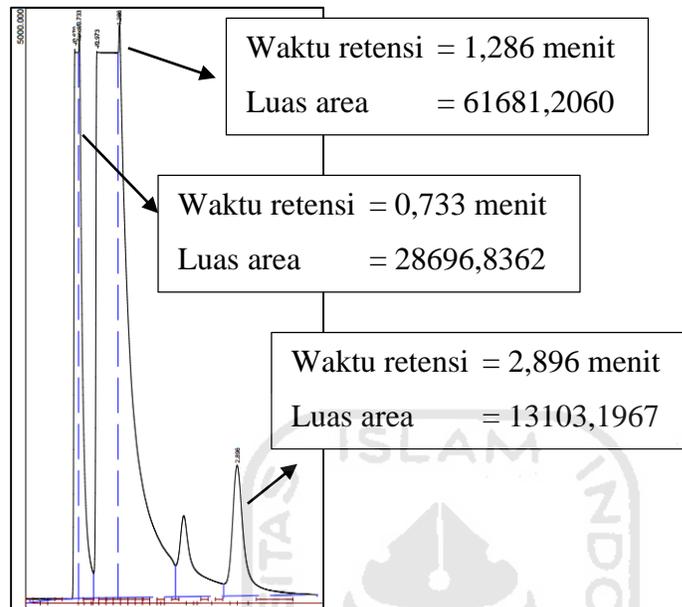
### 1. Kromatogram standar etanol 1%



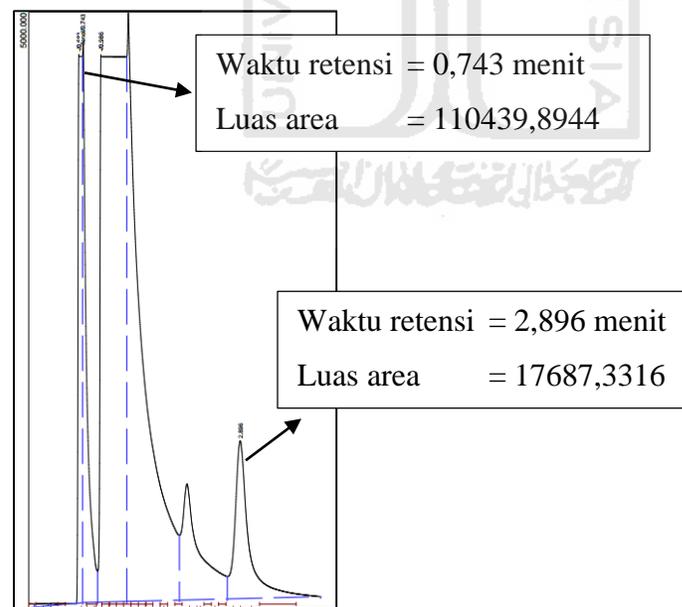
### 2. Kromatogram sampel 1 volt



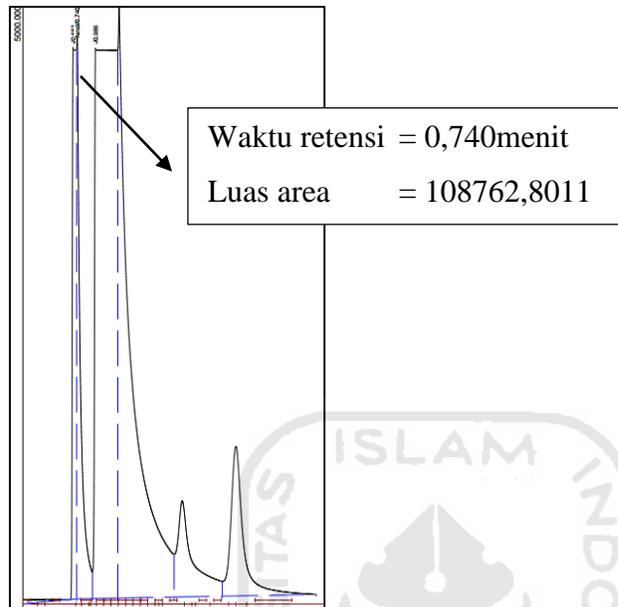
## 3. Kromatogram sampel 3 volt



## 4. Kromatogram sampel 5 volt

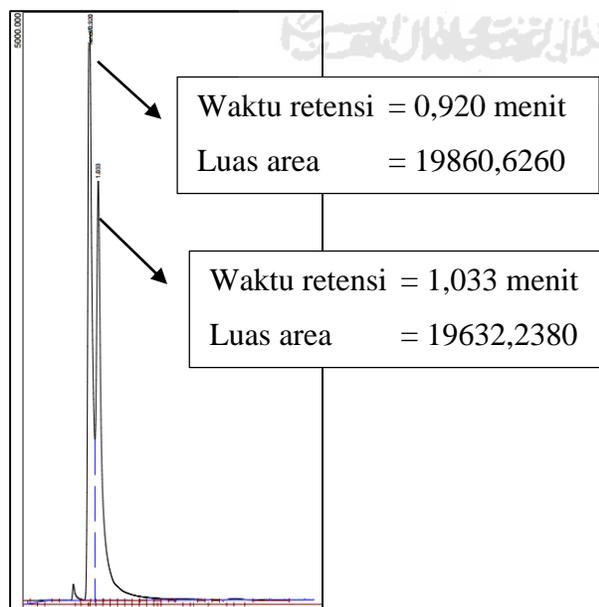


## 5. Kromatogram sampel 7 volt

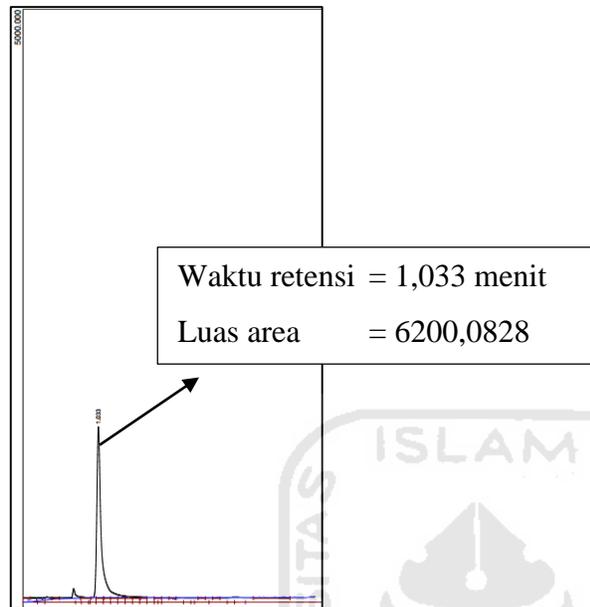


## 2.3 Pengaruh laju alir CO<sub>2</sub> terhadap hasil reduksi elektrokimia CO<sub>2</sub>

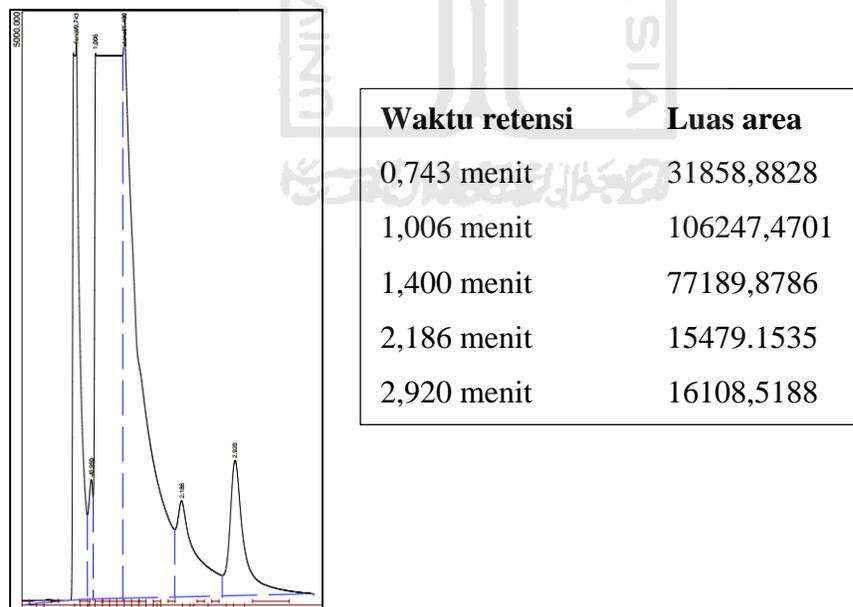
### 1. Kromatogram standar etanol 1%



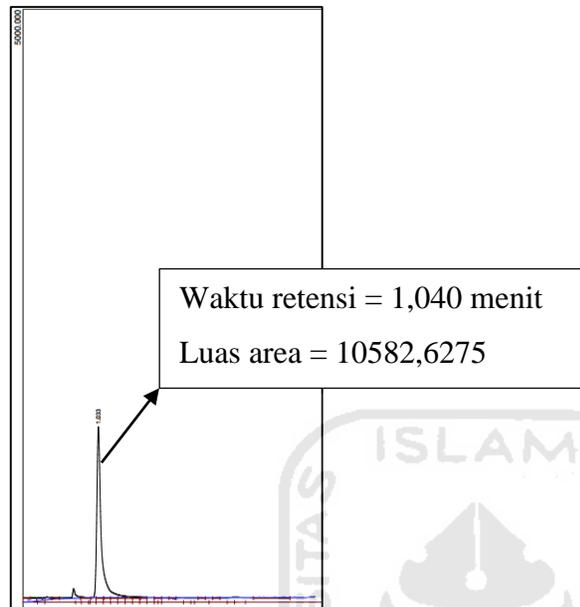
2. Kromatogram sampel 0,5 L/menit



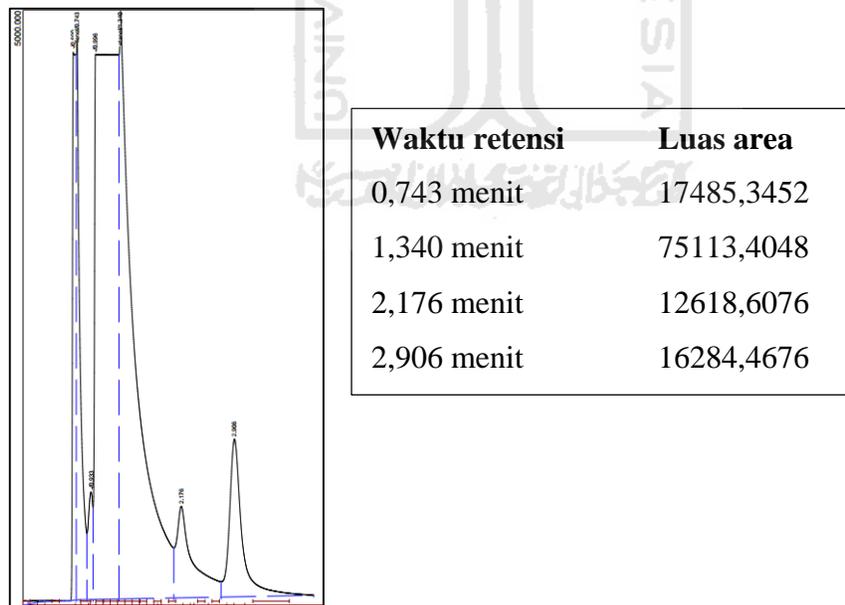
3. Kromatogram sampel 0,5 L/menit + standar etanol 1%



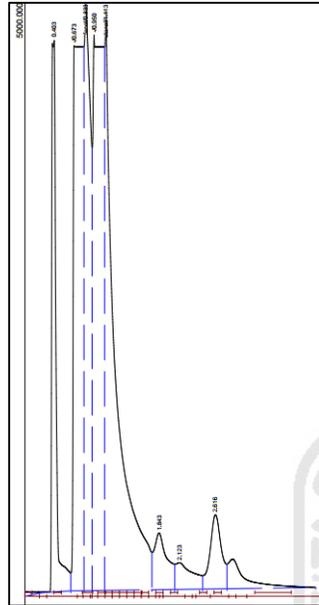
## 4. Kromatogram sampel 1 L/menit



## 5. Kromatogram sampel 1 L/menit + standar etanol 1%

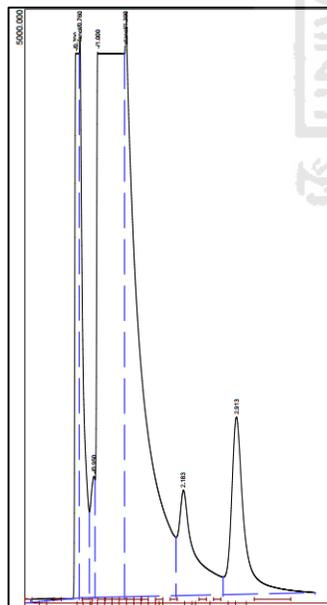


## 6. Kromatogram sampel 1,5 L/menit



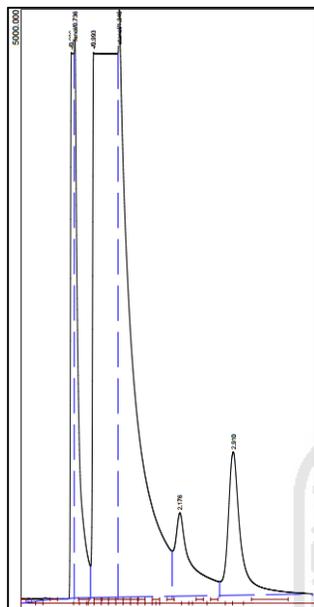
Waktu retensi	Luas area
0,403 menit	19318,9218
0,883 menit	29237,4276
1,113 menit	51556,5840
1,843 menit	10384,2276
2,123 menit	3810,7078
2,616 menit	6895,3244

## 7. Kromatogram sampel 1,5 L/menit + standar etanol 1%



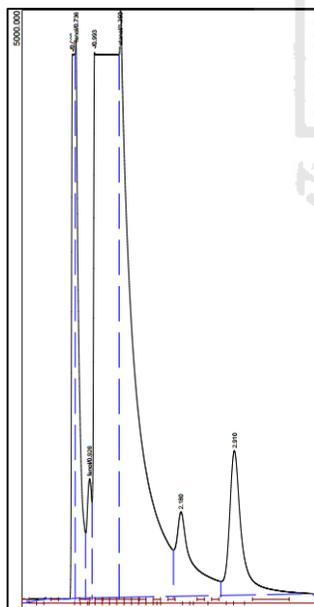
Waktu retensi	Luas area
0,760 menit	17440,8972
1,390 menit	72866,5545
2,183 menit	14567,2692
2,913 menit	18776,4746

## 8. Kromatogram sampel 2 L/menit



Waktu retensi	Luas area
0,736 menit	18051,9842
1,346 menit	68063,1966
2,176 menit	11428,6385
2,910 menit	14880,0048

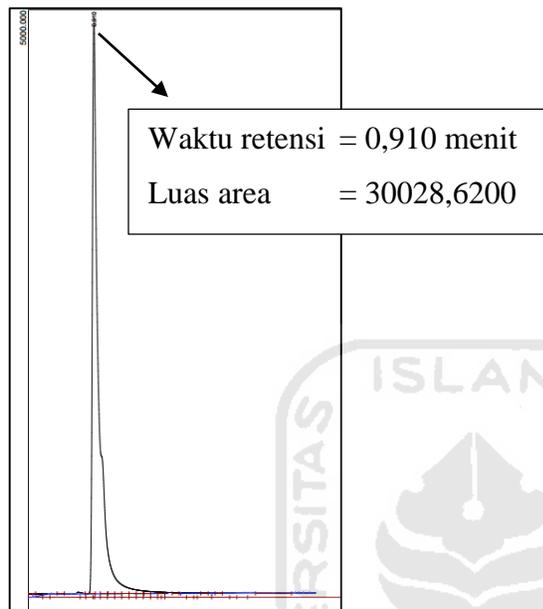
## 9. Kromatogram sampel 2 L/menit + standar etanol 1%



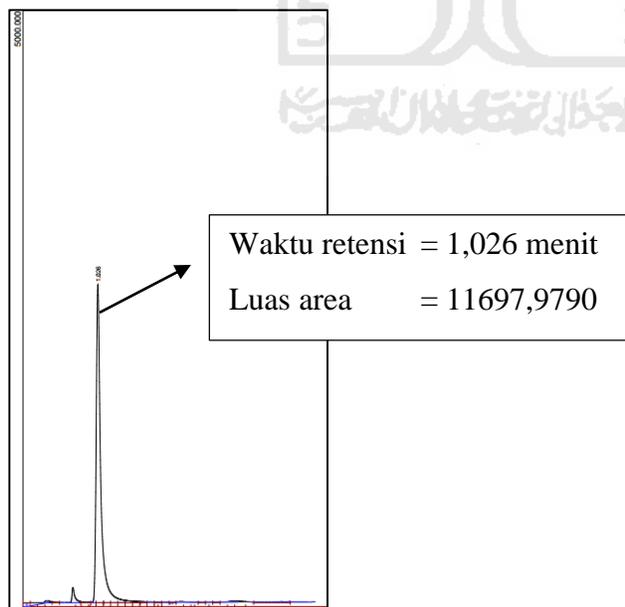
Waktu retensi	Luas area
0,736 menit	16637,5606
0,926 menit	4330,9804
1,350 menit	69201,9470
2,180 menit	11711,8192
2,910 menit	15098,3592

## 2.4 Pengaruh konsentrasi $\text{NaHCO}_3$ terhadap hasil reduksi elektrokimia $\text{CO}_2$

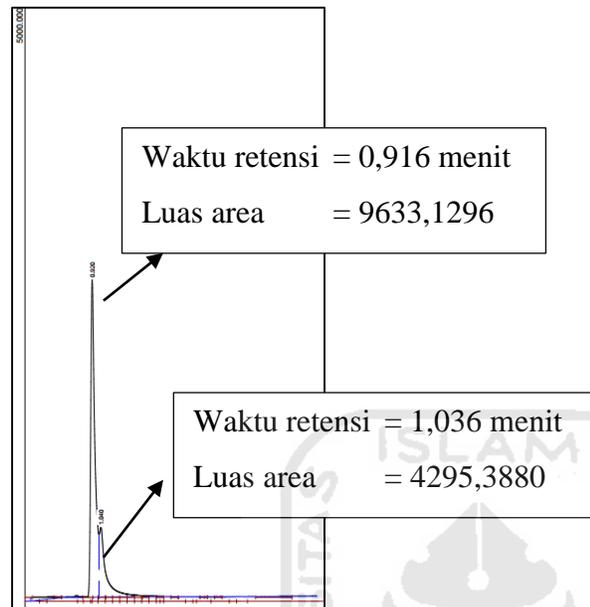
### 1. Kromatogram standar etanol 1%



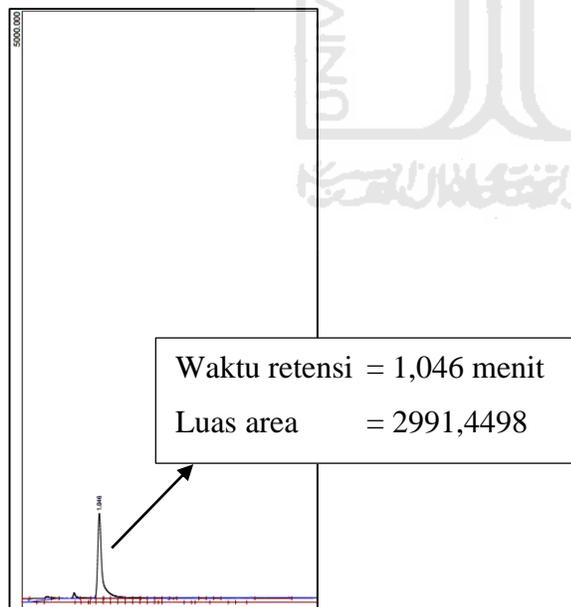
### 2. Kromatogram sampel 0,05 M $\text{NaHCO}_3$



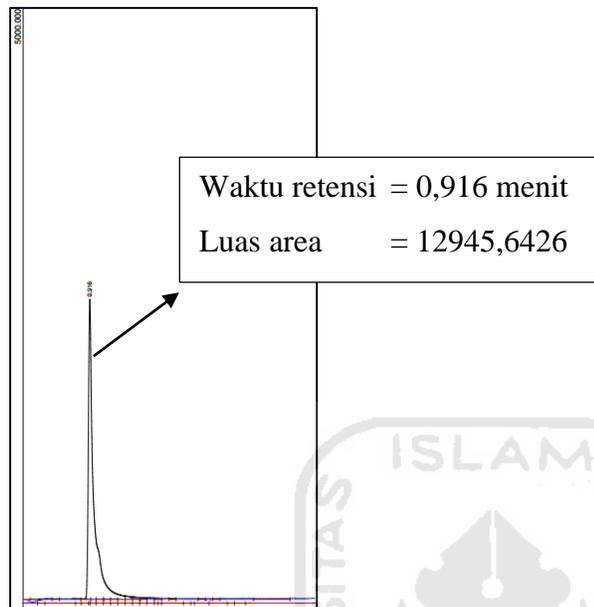
3. Kromatogram sampel 0,05 M  $\text{NaHCO}_3$  + standar etanol 1%



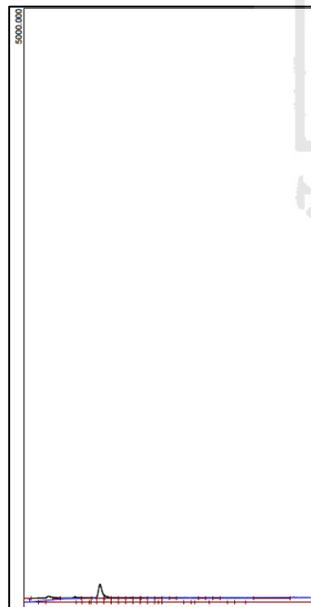
4. Kromatogram sampel 0,1 M  $\text{NaHCO}_3$



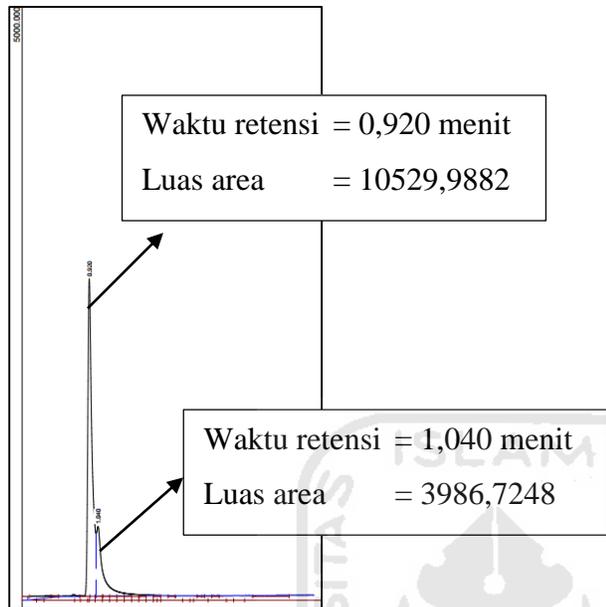
5. Kromatogram sampel 0,1 M NaHCO<sub>3</sub> + standar etanol 1%



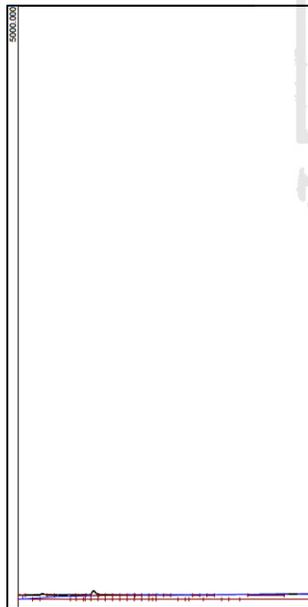
6. Kromatogram sampel 0,15 M NaHCO<sub>3</sub>

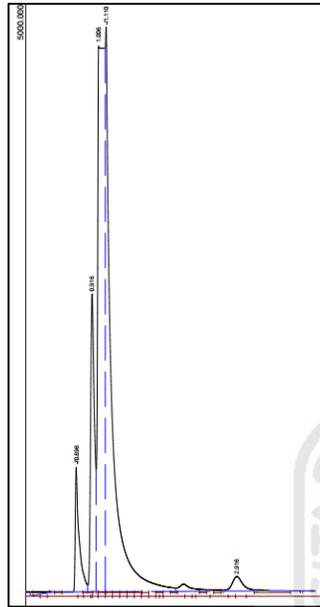


7. Kromatogram sampel 0,15 M NaHCO<sub>3</sub> + standar etanol 1%

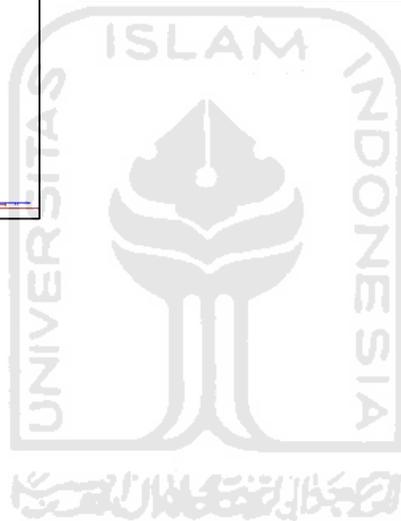


8. Kromatogram sampel 0,2 M NaHCO<sub>3</sub>



9. Kromatogram sampel 0,2 M NaHCO<sub>3</sub> + standar etanol 1%

Waktu retensi	Luas area
0,916 menit	9173,2254
1,006 menit	30015,9092
2,916 menit	1404,8864



### Lampiran 3. Tabel pengaruh variasi terhadap konsentrasi etanol

Tabel 1. Pengaruh waktu elektrolisis terhadap konsentrasi etanol dengan elektroda C non-aktivasi, potensial 3 volt dan laju alir CO<sub>2</sub> 2,5 L/menit dalam 50 mL larutan NaHCO<sub>3</sub> 0,1 M.

No.	Waktu elektrolisis (menit)	Hasil analisis KG	
		Luas area	Konsentrasi (%)
1	30	2386,3078	0,07951
2	60	3611,4507	0,12033
3	90	7640,7446	0,25459
4	120	18742,0596	0,62449
5	150	1895,4867	0,06316

Tabel 2. Pengaruh waktu elektrolisis terhadap reduksi elektrokimia CO<sub>2</sub> dengan elektroda C aktivasi, potensial 3 volt dan laju alir CO<sub>2</sub> 1,5 L/menit dalam 50 mL larutan NaHCO<sub>3</sub> 0,1 M

No.	Waktu elektrolisis (menit)	Hasil analisis KG	
		Luas area	Konsentrasi (%)
1	30	31311,8567	0,69812
2	60	45273,1440	1,00940
3	90	-	-
4	120	1485,5834	0,03312
5	150	2301,8584	0,05132

Tabel 3. Pengaruh potensial terhadap reduksi elektrokimia CO<sub>2</sub> dengan waktu elektrolisis 30 menit dan laju alir CO<sub>2</sub> 1,5 L/menit dalam 50 mL larutan NaHCO<sub>3</sub> 0,1 M

No.	Potensial (Volt)	Hasil analisis KG	
		Luas area	Konsentrasi (%)
1	1	-	-
2	3	61681,2060	0,14101
3	5	-	-
4	7	-	-

Tabel 4. Pengaruh laju alir terhadap reduksi elektrokimia CO<sub>2</sub> dengan potensial 3 volt selama 30 menit dalam 50 mL larutan NaHCO<sub>3</sub> 0,1 M

No.	Laju alir CO <sub>2</sub> (L/menit)	Hasil analisis KG	
		Luas area	Konsentrasi (%)
1	0,5	6200,0828	0,15724
2	1	10582,6275	0,26839
3	1,5	51556,5840	1,30755
4	2	68063,1966	1,72618

Tabel 5. Pengaruh konsentrasi larutan  $\text{NaHCO}_3$  terhadap reduksi elektrokimia dengan potensial 3 volt dan laju alir 2 L/menit selama 30 menit

No.	Konsentrasi $\text{NaHCO}_3$ (M)	Hasil analisis KG	
		Luas area	Konsentrasi (%)
1	0,05	11697,9790	0,38956
2	0,1	2991,4498	0,09944
3	0,15	-	-
4	02	-	-



