

**PENGARUH TEGANGAN DAN LAJU ALIR CO₂ TERHADAP
KONVERSI CO₂ MENJADI METANOL MENGGUNAKAN
MEMBRANE ELECTRODE ASSEMBLY (MEA)
PADA ELEKTROLISER *SINGLESTACK***

SKRIPSI

**Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh
Gelar Sarjana Sains Bidang Studi Kimia**



Oleh :

MUHAMMAD ILYAS IZZUDDIN

08031181823002

**JURUSAN KIMIA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS SRIWIJAYA**

2022

HALAMAN PENGESAHAN

**PENGARUH TEGANGAN DAN LAJU ALIR CO₂ TERHADAP
KONVERSI CO₂ MENJADI METANOL MENGGUNAKAN
MEMBRANE ELECTRODE ASSEMBLY (MEA)
PADA ELEKTROLISER *SINGLESTACK***

SKRIPSI

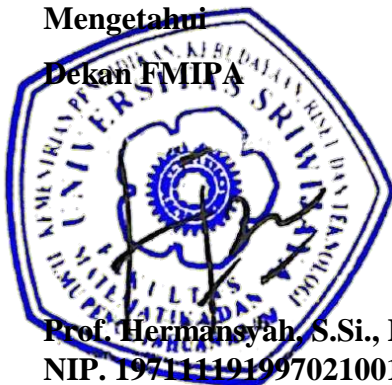
**Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh
Gelar Sarjana Sains Bidang Studi Kimia**

Oleh :

**MUHAMMAD ILYAS IZZUDDIN
08031181823002**

Indralaya, Maret 2022

**Mengetahui
Dekan FMIPA**



**Prof. Hermansyah, S.Si., M.Si., Ph.D
NIP. 197111191997021001**

Pembimbing



**Dr. Dedi Rohendi, M.T.
NIP. 196704191993031001**

HALAMAN PERSETUJUAN

Karya tulis ilmiah berupa skripsi dengan judul “Pengaruh Tegangan dan Laju Alir CO₂ terhadap Konversi CO₂ menjadi Metanol menggunakan *Membrane Electrode Assembly* (MEA) pada Elektroliser *Singlestack*” telah dipertahankan dihadapan Tim Penguji Sidang Sarjana Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Sriwijaya pada tanggal 21 Maret 2022 dan telah diperbaiki, diperiksa, serta disetujui sesuai masukan yang telah diberikan.

Inderalaya, Maret 2022

Ketua:

1. **Dr. Dedi Rohendi, M.T.**
NIP. 196704191993031001

()

Anggota:

1. **Dr. Desnelli, M.Si**
NIP. 196912251997022001

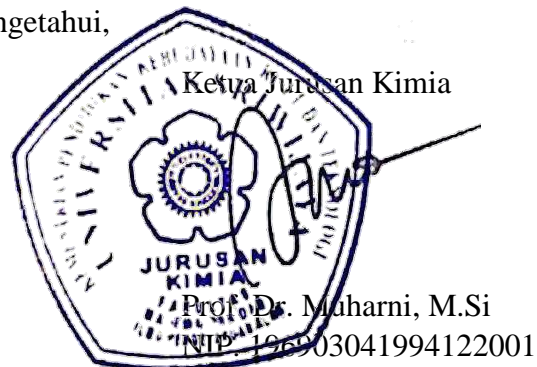
()

2. **Dr. Suheryanto, M.Si**
NIP. 196006251989031006

()



Mengetahui,



PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama Mahasiswa : Muhammad Ilyas Izzuddin

NIM : 08031181823002

Fakultas/Jurusan : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam/Kimia

Menyatakan bahwa skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri dan karya ilmiah ini belum pernah diajukan sebagai pemenuhan persyaratan untuk memperoleh gelar kesarjanaan strata (S1) dari Universitas Sriwijaya maupun perguruan tinggi lain. Semua informasi yang dimuat dalam skripsi ini yang berasal dari penulis lain baik yang dipublikasikan atau tidak telah diberikan penghargaan dengan mengutip nama sumber penulis secara benar. Semua isi dari skripsi ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab saya sebagai penulis.

Demikianlah surat pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Indralaya, Maret 2022

Penulis



Muhammad Ilyas Izzuddin

NIM. 08031181823002

HALAMAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai Civitas akademik Universitas Sriwijaya, yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama Mahasiswa : Muhammad Ilyas Izzuddin
NIM : 08031181823002
Fakultas/Jurusan : MIPA/Kimia
Jenis Karya : Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, saya menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Sriwijaya “Pengaruh Tegangan dan Laju Alir CO₂ terhadap Konversi CO₂ menjadi Metanol menggunakan *Membrane Electrode Assembly* (MEA) pada Elektroliser *Singlestack*”. Dengan hak bebas royalty non-eksklusive ini Universitas Sriwijaya berhak menyimpan, mengalih, edit/memformatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (database), merawat, dan mempublikasikan tugas akhir atau skripsi saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik hak cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya.

Indralaya, Maret 2022

Yang menyatakan,



Muhammad Ilyas Izzuddin

NIM. 08031181823002

HALAMAN PERSEMBAHAN

“....Katakanlah: "Adakah sama orang-orang yang mengetahui dengan orang-orang yang tidak mengetahui?...”

(QS. Az-Zumar : 9)

Skripsi ini sebagai tanda syukurku kepada Allah Subhanahu Wa Ta’ala

Skripsi ini saya persembahkan kepada

- Kedua orang tuaku yang selalu memberikan doa dan dukungan yang tiada henti
- Seluruh keluargaku
- Pembimbing dan sahabat-sahabatku yang senantiasa memberikan dukungan dalam bentuk apapun
- Almamaterku (Universitas Sriwijaya)

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur atas rahmat dan karunia Allah SWT sehingga penulis akhirnya dapat menyelesaikan penulisan skripsi yang berjudul: “Pengaruh Tegangan dan Laju Alir CO₂ terhadap Konversi CO₂ menjadi Metanol menggunakan *Membrane Electrode Assembly* (MEA) pada Elektroliser *Singlestack*”. Skripsi ini dibuat sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana sains pada Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Jurusan Kimia Universitas Sriwijaya.

Proses penyusunan skripsi ini tidak terlepas dari berbagai rintangan, mulai dari pengumpulan literatur, penelitian, pengumpulan data dan sampai pada pengolahan data maupun dalam tahap penulisan. Namun dengan kesabaran dan ketekunan yang dilandasi dengan rasa tanggung jawab selaku mahasiswa dan juga bantuan dari berbagai pihak, baik material maupun moril, akhirnya selesai sudah penulisan skripsi ini. Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Bapak **Dr. Dedi Rohendi, M.T** yang telah banyak memberikan bimbingan, bantuan, motivasi, saran dan petunjuk kepada penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.

Penulis juga menyampaikan terima kasih kepada:

1. Bapak Prof. Hermansyah, Ph.D selaku Dekan FMIPA Universitas Sriwijaya
2. Ibu Prof. Dr. Muharni, M.Si. selaku Ketua Jurusan Kimia FMIPA Universitas Sriwijaya
3. Bapak Dr. Addy Rachmat, M.Si. selaku sekretaris Jurusan Kimia FMIPA Universitas Sriwijaya
4. Bapak Dr. Dedi Rohendi, M.T selaku dosen Pembimbing Akademik
5. Bapak Dr. Suheryanto, M.Si dan Ibu Dr Desnelli, M.Si selaku pembahas dan penguji sidang sarjana.
6. Seluruh Dosen FMIPA Kimia Universitas Sriwijaya yang telah memberikan ilmu, mendidik dan membimbing selama masa kuliah.

7. Ibu Siti Nuraini, S.T., Ibu Yuniar, S.T. M. Sc., dan Ibu Hanida Yanti, A. Md. selaku analis di Laboratorium Kimia.
8. Mbak Novi dan Kak Chosiin selaku Admin Jurusan Kimia yang banyak membantu dalam proses perkuliahan hingga tugas akhir.
9. Ayah dan Ibu, Terima kasih semua do'a dan dukungan yang telah diberikan. Nasihat kebaikan yang selalu menjadi arah langkah dalam kehidupan hingga saat ini. Kedua adikku yang menjadi penyemangat dikala lelah.
10. Kakek dan Almarhumah nenek yang sangat besar perannya dalam perjalanan hidupku terutama pendidikanku.
11. Keluarga Besarku yang selalu mendoakan dan senantiasa memberikan dukungan dan arahan.
12. Aknes Citra Oktari. Terima kasih sudah menjadi tempat berbagi dan berperan menjadi apapun yang bisa membuatku semangat hingga saat ini. Terima kasih telah memberikan warna dalam setiap perjalanan hidupku.
13. Kak Dwi, mentorku superku. terimakasih banyak atas semua ilmu yang diberikan. Menjadi inspirasi dalam menuntut ilmu. Menjadi sosok yang membuat Ilyas sangat antusias disaat rata-rata orang sangat tertekan dengan penelitiannya. Terima kasih telah mendengarkan dan memberi ruang untuk Ilyas berdiskusi dengan kakak, walaupun terkadang membuat kakak ribet.
14. Mentor PUR (Kak Reka, Kak Dwi dan Kak Yuni), terimakasih banyak kak atas support dan ilmu yang diberikan. Semoga allah membalas kebaikan-kebaikan kakak-kakak sekalian.
15. Tujuh Naga. Terima kasih semua semangat yang kalian berikan. Hadir disaat suka maupun duka. Semangat buat kalian!!. Ayo jadi naga-naga hebat berikutnya. Terus berusaha dan berdoa. Jangan lupa LOGIN!
16. Damri Squad, terima kasih segmen-segmen kehidupan dan lembaran cerita yang pernah dilewati. Terima kasih dukungannya sampai saat ini. Ade penerus katalis Cu semangat terus! Siap membantu kalau ada kesulitan. Prima, Suteja gaslah duo maut Fuel Cell kasih paham. Dinda

semangat! Jangan lupa karaoke. Raafiud, Iqbal, Tiur, Lidya, Irene, semangat terus! Kalian orang-orang hebat.

17. PUR 1/2018. (Fatma, Cici, Igam, Sandi, Ade Dwi, Delima, Marya dan Sabrina) terima kasih bantuan yang diberikan selama penelitian. Semangat untuk kehidupan berikutnya teman-teman. Sukses untuk kalian semua.
18. Metanol Team, terima kasih untuk semua kerja samanya dalam penelitian dan good luck!.
19. PUR 2017 (Kak Saumi, Kak Vadia dan Kak Resti), Terima kasih lampu yang diberikan kak. Membantu penelitian Ilyas dan semua yang telah kakak-kakak beri ke Ilyas.
20. KIMIA 2018. Terimakasih banyak, semangat teman-teman.
21. Semua pihak yang telah membantu saya baik secara langsung maupun tidak langsung yang tidak dapat disebutkan satu per satu, sehingga saya dapat menyelesaikan penelitian dan skripsi ini dengan baik.

Semoga bimbingan, ilmu, bantuan, dan masukan yang telah diberikan kepada penulis menjadi amal shaleh dan pahala yang setimpal dari Allah Subhanahu Wa Ta'aala. penulis menyadari bahwa skripsi ini masih banyak kekurangan dan kesalahan, sehingga penulis sangat mengharapkan kritik dan saran dari pembaca. Akhir kata penulis mengucapkan terima kasih, semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi semua serta pengembangan ilmu kimia di masa yang akan datang.

Indralaya, Maret 2022

Penulis

THE EFFECT OF VOLTAGE AND FLOW RATE CO₂ TOWARDS THE CONVERSION OF CO₂ TO METHANOL USING MEMBRANE ELECTRODE ASSEMBLY (MEA) ON SINGLESTACK ELECTROLYZER

Muhammad Ilyas Izzuddin: Supervised by Dr. Dedi Rohendi, M.T
Chemistry, Faculty of Mathematics and Natural Science, Sriwijaya University
ix + 51 pages, 6 tables, 11 images, 11 appendices

SUMMARY

CO₂ gas can be converted into suitable products, one of which is methanol. In this study, CO₂ was converted into methanol by the chemical reduction method using a membrane electrode assembly (MEA) as the reaction center. MEA consists of a Nafion-117 electrolyte membrane and two electrodes in the form of cathode and anode. The cathode uses a Cu₂O-ZnO/C catalyst applied to the surface of the gas diffusion layer (GDL) and the anode uses a Pt/C catalyst developed on the surface of the backing layer (BL). Both electrodes were combined with Nafion-117 by hot pressing at a temperature of 135°C and a pressure of 2000 psi within 3 minutes to produce MEA. MEA is mounted on a singlestack electrolyzer made from the above materials. CO₂ gas goes to the cathode, on the other hand, water is introduced into the anode side and the reaction that occurs after electrical energy. The electrolyzer applied voltage varied at 0.6; 0.8; 1.0; 1,2; 1.4; 1.6; 1.8 and 2.0 V and the measurement results show the gain of methanol concentration of each voltage is 10.66; 13.2; 13.52; 13.66; 14.5; 15.03; 17.72 and 13.55% (w/v). The CO₂ gas that goes to the cathode is regulated at a variable flow rate of 60; 80; 100; 120; 140 and 160 mL/minute and the measurement results show the methanol concentration of each flow rate of 17.72; 20.36; 28.03; 34.34; 23.55 and 12.34% (w/v). The conversion process was carried out within 120 minutes of operation, the response was recorded to decrease due to a decrease in MEA performance. CO₂ was successfully converted with the highest value of 93.96 %.

Keywords : CO₂ Conversion, Methanol, Cu₂O-ZnO/C, Pt/C, Membrane
Electrode Assembly (MEA)
Citation : 53 (2007-2021)

**PENGARUH TEGANGAN DAN LAJU ALIR CO₂ TERHADAP
KONVERSI CO₂ MENJADI METANOL MENGGUNAKAN *MEMBRANE
ELECTRODE ASSEMBLY (MEA)* PADA ELEKTROLISER *SINGLESTACK***

Muhammad Ilyas Izzuddin: Dibimbing oleh Dr. Dedi Rohendi, M.T
Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Sriwijaya
ix + 51 halaman, 6 tabel, 11 gambar, 11 lampiran

RINGKASAN

Gas CO₂ dapat dikonversi menjadi produk bernilai salah satunya metanol. Pada penelitian ini, CO₂ dikonversi menjadi metanol dengan metode reduksi elektrokimia menggunakan *membrane electrode assembly (MEA)* sebagai pusat reaksi. MEA terdiri dari membran elektrolit Nafion-117 dan dua elektroda berupa katoda dan anoda. Katoda menggunakan katalis Cu₂O-ZnO/C yang didistribusikan pada permukaan *gas diffusion layer (GDL)* dan anoda menggunakan katalis Pt/C yang didistribusikan pada permukaan *backing layer (BL)*. Kedua elektroda digabungkan dengan Nafion-117 dengan penekanan panas pada temperatur 135°C dan tekanan 2000 psi dalam waktu 3 menit menghasilkan MEA. MEA dipasang pada elektroliser *singlestack* yang dibuat dari bahan akrilik. Gas CO₂ dialirkan menuju katoda, disisi lain air dimasukkan ke dalam sisi anoda dan reaksi terjadi setelah diberikan energi listrik. Elektroliser diberikan tegangan bervariasi pada 0,6; 0,8; 1,0; 1,2; 1,4; 1,6; 1,8 dan 2,0 V dan hasil pengukuran menunjukkan perolehan konsentrasi metanol masing-masing tegangan sebesar 10,66; 13,2; 13,52; 13,66; 14,5; 15,03; 17,72 dan 13,55 % (b/v). Gas CO₂ yang dialirkan menuju katoda diatur pada laju alir bervariasi 60; 80; 100; 120; 140 dan 160 mL/menit dan hasil pengukuran menunjukkan konsentrasi metanol masing-masing laju alir sebesar 17,72; 20,36; 28,03; 34,34; 23,55 dan 12,34 % (b/v). Proses konversi dilakukan dalam waktu operasi 120 menit, respon arus tercatat menurun akibat terjadinya penurunan kinerja MEA. CO₂ berhasil dikonversi dengan nilai tertinggi sebesar 93,96 %.

Kata kunci : Konversi CO₂, Metanol, Cu₂O-ZnO/C, Pt/C, *Membrane Electrode Assembly (MEA)*

Sitasi : 53 (2007-2021)

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN.....	ii
HALAMAN PERSETUJUAN.....	iii
PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH.....	iv
HALAMAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH	v
SUMMARY	vi
RINGKASAN	vii
KATA PENGANTAR.....	ix
DAFTAR ISI.....	xii
DAFTAR GAMBAR.....	xiv
DAFTAR TABEL.....	xv
DAFTAR LAMPIRAN	xvi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan penelitian	3
1.4 Manfaat penelitian	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	4
2.1 Karbon Dioksida (CO ₂)	4
2.2 Konversi Karbon Dioksida	4
2.3 MEA (<i>Membrane Electrode Assembly</i>).....	6
2.3.1 Membran Nafion	7
2.3.2 Elektroda	7
2.3.2.1 GDL (<i>Gas Diffusion Layer</i>)	8
2.3.2.2 Tembaga (Cu) sebagai Katalis	9
2.3.2.3 Platina (Pt) sebagai Katalis.....	10
2.4 Metanol.....	10
2.5 <i>Methanol Analyzer</i>	11

BAB III METODOLOGI PENELITIAN	12
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	12
3.2 Alat dan Bahan	12
3.2.1 Alat	12
3.2.2 Bahan	12
3.3 Prosedur Penelitian	12
3.3.1 Preparasi GDL (<i>Gas Diffusion Layer</i>)	12
3.3.2 Preparasi katalis	13
3.3.2.1 Preparasi serbuk katalis Cu ₂ O-ZnO/C (40:60)..	13
3.3.3 Preparasi elektroda	13
3.3.3.1 Elektroda Cu ₂ O-ZnO/C	13
3.3.3.2 Elektroda Pt/C	13
3.3.4 Preparasi MEA	14
3.3.5 Konversi CO ₂ menjadi metanol secara reduksi elektrokimia	14
3.3.5.1 Variasi tegangan pada elektroliser <i>singlestack</i> ..	14
3.3.5.2 Variasi laju alir gas CO ₂ pada elektroliser <i>singlestack</i>	15
3.3.6 Analisis Data	15
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	16
4.1 Pembuatan <i>Membrane Electrode Assembly</i> (MEA)	16
4.2 Hasil Pengujian Konversi CO ₂ menjadi Metanol Secara Reduksi Elektrokimia	18
4.2.1 Penentuan tegangan optimum	19
4.2.2 Penentuan Laju Alir Optimum	21
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	24
5.1 Kesimpulan	24
5.2 Saran	24
DAFTAR PUSTAKA	25
LAMPIRAN	30
DAFTAR RIWAYAT HIDUP	51

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 1. Membrane Electrode Assembly MEA	6
Gambar 2. Struktur membran nafion	7
Gambar 3. Lapisan Gas Diffusion Layer (GDL)	8
Gambar 4. Skema produksi metanol dengan MEA.....	14
Gambar 5. (a) kertas karbon (b) GDL (c) elektroda Cu ₂ O-ZnO/C	16
Gambar 6. (a) backing layer (b) elektroda Pt/C	17
Gambar 7. Reaksi reduksi CO ₂ menjadi metanol menggunakan katalis Cu ₂ O- ZnO/C.....	19
Gambar 8. Hasil pengujian variasi tegangan terhadap konversi CO ₂ menjadi metanol	19
Gambar 9. Respon arus terhadap waktu operasi pada tiap variasi tegangan	20
Gambar 10. Hasil pengujian variasi laju alir gas CO ₂ terhadap konversi CO ₂ menjadi metanol	21
Gambar 11. Respon arus terhadap waktu operasi pada tiap variasi laju alir.....	22

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 1. Reaksi reduksi CO ₂ secara elektrokimia.....	5
Tabel 2. Reaksi pembentukan metanol secara reduksi elektrokimia	5
Tabel 3. Sifat-sifat logam Cu	9
Tabel 4. Analisis data pengukuran konversi CO ₂ menjadi metanol.....	15
Tabel 5. Persen konversi CO ₂ pada proses reduksi elektrokimia CO ₂ menjadi metanol.....	23

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran 1. Skema Kerja Pembuatan GDL (Gas Diffusion Layer)	31
Lampiran 2. Skema Kerja Pembuatan Serbuk Katalis Cu ₂ O-ZnO/C dan Pt/C	32
Lampiran 3. Skema Pembuatan Elektroda Cu ₂ O-ZnO/C (1 mg/cm ²).....	33
Lampiran 4. Skema Pembuatan Elektroda Pt/C (1 mg/cm ²).....	34
Lampiran 5. Skema Kerja Pengaktifan Membran dan Pembuatan MEA	35
Lampiran 6. Skema Konversi CO ₂ Menjadi Metanol pada Elektroliser <i>Singlestack</i> dengan Variasi Tegangan	36
Lampiran 7. Skema Konversi CO ₂ Menjadi Metanol pada Elektroliser <i>Singlestack</i> dengan Variasi Laju Alir Gas CO ₂	37
Lampiran 8. Perhitungan Pengaktifan Membran	38
Lampiran 9. Perhitungan Faktor Konversi CO ₂ (variasi tegangan)	39
Lampiran 10. Perhitungan Faktor Konversi CO ₂ (variasi laju alir gas CO ₂)....	45
Lampiran 11. Alat dan Bahan yang digunakan	49

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Konversi CO₂ menjadi metanol (CH₃OH) dapat dilakukan untuk produksi *raw material* dan bahan bakar terbarukan. Metode konversi CO₂ terdiri dari berbagai cara diantaranya hidrogenasi, reduksi elektrokimia, reduksi fotokimia dan reduksi fotoelektrokimia (Ivanova *et al.*, 2016). Selama ini metode konversi CO₂ dilakukan menggunakan metode hidrogenasi yang mengharuskan kondisi tekanan dan temperatur yang tinggi. Konversi CO₂ yang dilakukan dalam penelitian ini menggunakan metode reduksi elektrokimia. Reduksi elektrokimia dapat dilakukan pada temperatur lingkungan dan menggunakan air sebagai sumber proton (Rohendi *et al.*, 2021). Reaksi reduksi elektrokimia dapat menghasilkan berbagai produk tergantung pada media reaksi dan bahan katalis. Reaksi reduksi elektrokimia melibatkan transfer elektron dengan jumlah yang berbeda pada konfigurasi sel dan elektroda yang berbeda (Albo *et al.*, 2015).

Studi mengenai reaksi reduksi elektrokimia menjelaskan bahwa selektivitas, hasil produk serta efisiensinya dipengaruhi oleh larutan elektrolit, elektroda, pH, konduktivitas elektrolit, tegangan, laju alir elektrolit dan laju alir gas CO₂. Proses yang terjadi dalam reduksi elektrokimia meliputi proses oksidasi air di anoda yang melepaskan elektron dan secara bersamaan terjadi reduksi CO₂ di katoda menjadi hidrokarbon dan alkohol. Elektroda dengan katalis yang stabil serta selektif terhadap H⁺ menjadi kunci utama dalam konversi CO₂ menjadi metanol (Tuyen *and* Le, 2011). Penelitian sebelumnya memberikan hasil bahwa Cu sebagai *basic electrode* menghasilkan metanol sebagai produk utama. Cu₂O sangat baik untuk mentransformasi CO₂ menjadi metanol. Permukaan pada Cu oksida memberikan sifat adsorpsi yang memungkinkan hasil metanol yang lebih tinggi (Albo *et al.*, 2015; Albo *et al.*, 2015).

Elektroda campuran antara oksida Cu-Zn-Al menunjukkan aktivitas katalitik yang lebih tinggi dalam pembentukan senyawa metanol. Katalis oksida logam Al memiliki aktivitas katalitik yang normal namun memiliki selektivitas yang kurang (Khzouz *et al.*, 2013). Cu yang digabungkan dengan logam Zn

memiliki efisiensi yang lebih tinggi dalam mereduksi CO₂. Produksi metanol menggunakan logam ZnO sebagai promotor katalis Cu₂O sehingga keaktifan katalis Cu₂O diperbesar. Proses konversi CO₂ menjadi metanol menjadi efisien menggunakan katalis Cu₂O-ZnO dengan waktu reaksi yang lebih lama dibandingkan katalis Cu saja (Albo *et al.*, 2015). Penelitian ini menggunakan katalis Cu₂O-ZnO dalam matriks karbon (Cu₂O-ZnO/C) untuk menjaga konduktivitas elektrik dari katalis tersebut.

Reduksi elektrokimia menggunakan MEA (*Membrane Electrode Assembly*) merupakan salah satu metode untuk mengkonversi CO₂ menjadi CH₃OH. Komponen yang menyusun MEA berupa katoda dan anoda yang digabungkan dan diantara elektroda tersebut terdapat membran elektrolit. Kinerja MEA dipengaruhi oleh ketebalan GDL (*Gas Diffusion Layer*), proses pembuatan elektroda, kinerja *catalyst layer* serta metode pembuatan MEA (Rohendi *et al.*, 2013). MEA memiliki peranan penting sebagai pusat reaksi elektrokimia sehingga MEA harus diupayakan agar memiliki kerapatan arus dan daya tahan yang tinggi (D. Rohendi *et al.*, 2019)..

Albo *and* Irabien (2016) melaporkan dari nilai *r* (*formation rate*) laju alir gas mempengaruhi kinerja reduksi elektrokimia CO₂ menjadi CH₃OH. Ramadan (2017) telah melakukan penelitian dengan melakukan pengaruh tegangan terhadap pembentukan etanol dan memperoleh tegangan optimum sebesar 2,0 V. Berbeda dari penelitian sebelumnya (Albo *et al.*, 2015; Albo *and* Irabien, 2016) melakukan pengaruh variasi laju alir gas pada produksi metanol dari reduksi elektrokimia CO₂ menggunakan GDE dan elektrolit KHCO₃ sebagai media konversi. Penelitian ini melihat pengaruh dari tegangan sel dan laju alir gas CO₂ yang bervariasi pada konversi CO₂ menjadi metanol menggunakan MEA yang menggunakan elektrolit padat berupa nafion 117. MEA *singlestack* sebagai pusat reaksi elektrokimia. Katalis yang digunakan Cu₂O-ZnO/C dengan pemuatan katalis 1 mg.cm⁻² dan rasio massa (1:1) yang melapisi katoda, dan Pt/C dengan pemuatan katalis yang sama sebagai katalis di anoda. Produk metanol yang dihasilkan dianalisis menggunakan *methanol analyzer*.

1.2 Rumusan Masalah

Proses konversi gas CO₂ menjadi metanol dengan metode reduksi elektrokimia dilakukan dengan mengalirkan gas CO₂ menuju sel elektroliser dengan memberikan tegangan sel dari luar. Permasalahan dalam penelitian ini adalah bagaimana pengaruh tegangan sel dan laju alir gas CO₂ terhadap hasil konversi CO₂ menjadi metanol menggunakan MEA pada elektroliser *singlestack* secara reduksi elektrokimia?

1.3 Tujuan penelitian

Tujuan penelitian ini adalah menentukan tegangan optimum dan laju alir gas CO₂ optimum pada proses konversi CO₂ menjadi metanol menggunakan MEA pada elektroliser *singlestack* secara reduksi elektrokimia.

1.4 Manfaat penelitian

Manfaat penelitian ini diharapkan dapat meningkatkan konsentrasi produk metanol dengan menerapkan tegangan sel dan laju alir gas (*gas flow rate*) optimum pada konversi CO₂ menjadi metanol menggunakan MEA pada elektroliser *single stack* dengan bantuan katalis Cu₂O-ZnO/C dan Pt/C.

DAFTAR PUSTAKA

- Albo, J., Alvarez-Guerra, M., Castaño, P., & Irabien, A. 2015. Towards the Electrochemical Conversion of Carbon Dioxide into Methanol. *Green Chemistry*, 17(4), 2304–2324.
- Albo, J., & Irabien, A. 2016. Cu₂O-Loaded Gas Diffusion Electrodes for the Continuous Electrochemical Reduction of CO₂ to Methanol. *Journal of Catalysis*, 343(1), 232–239.
- Albo, J., Sáez, A., Solla-Gullón, J., Montiel, V., & Irabien, A. 2015. Production of Methanol from CO₂ electroreduction at Cu₂O and Cu₂O/ZnO-based Electrodes in Aqueous Solution. *Applied Catalysis B: Environmental*, 176–177, 709–717.
- Alhabib, A., Gunawan, R., & Sitorus, S. 2014. Penggunaan Monomer Nafion sebagai Pembawa Proton (H⁺) dengan Metode Teori Fungsi Kerapatan. *Jurnal Kimia Mulawarman*, 12(1), 42–44.
- Araya, S. S., Liso, V., Cui, X., Li, N., Zhu, J., Sahlin, S. L., Jensen, S. H., Nielsen, M. P., & Kær, S. K. 2020. A Review of the Methanol Economy: The Fuel Cell Route. *Energies*, 13(3), 1–32.
- Asriani. 2017. *Identifikasi Logam Tembaga (Cu) pada Zonasi Radius 1-5 Km Tempat Pembuatan Akhir (TPA) Antang Makassar terhadap Pengaruh Kualitas Air Sumur Gali*. Skripsi: UIN Alauddin Makassar.
- Baroutaji, A., Carton, J. G., Sajjia, M., Ramadan, M., & Olabi, A. G. 2016. Materials in PEM Fuel Cells. *Materials Science and Materials Engineering*, 1(1), 256–266.
- Cardozo, J., Marx, N., Boulon, L., & Hissel, D. 2015. Comparison of Multi Stack Fuel Cell System Architectures for Residential Power Generation Applications Including Electrical Vehicle Charging. *Proceedings*, 2–7.
- Chen, K., & Xue, D. 2014. Cu-based Materials as High Performance Electrodes Toward Electrochemical Energy Storage. *Functional Materials Letters*, 7(1), 1–9.
- Danaiah, P., Kumar, P. R., & Kumar, D. V. 2013. Effect of Methanol Gasoline Blended Fuels on the Performance and Emissions of SI Engine. *International Journal of Ambient Energy*, 34(4), 175–180.

- Endrődi, B., Bencsik, G., Darvas, F., Jones, R., Rajeshwar, K., & Janáky, C. 2017. Continuous Flow Electroreduction of Carbon Dioxide. *Progress in Energy and Combustion Science*, 62(1), 133–154.
- Fitriani, L. 2012. *Studi Reaksi Reduksi CO₂ dengan Metode Elektrokimia menggunakan Elektroda Cu*. Skripsi: Universitas Indonesia.
- Hadjadj, R., Csizmadia, I. G., Mizsey, P., Jensen, S. K., Viskolcz, B., & Fiser, B. 2020. Water Enhanced Mechanism for CO₂ – Methanol Conversion. *Chemical Physics Letters*, 746(1), 137298.
- Hazarika, J., & Manna, M. S. 2019. Electrochemical Reduction of CO₂ to Methanol with Synthesized Cu₂O Nanocatalyst: Study of the Selectivity. *Electrochimica Acta*, 328(1), 135053.
- Hobson, C., & Márquez, C. 2018. Renewable Methanol Report. In *Methanol Institute* Vol. 103.
- International Renewable Energy Agency (IRENA). 2021. *Renewable Methanol*.
- Ivanova, N., Gugleva, V., Dobрева, M., Pehlivanov, I., Stefanov, S., & Andonova, V. 2016. Carbon Dioxide Conversion to Methanol: Opportunities and Fundamental Challenges. In *Intech*.
- Keerthiga, G., & Chetty, R. 2017. Electrochemical Reduction of Carbon Dioxide on Zinc Modified Copper Electrodes. *Journal of The Electrochemical Society*, 164(4), H164–H169.
- Khezri, B., Fisher, A. C., & Pumera, M. 2017. CO₂ reduction: The quest for electrocatalytic materials. *Journal of Materials Chemistry A*, 5(18), 8230–8246.
- Khzouz, M., Wood, J., Pollet, B., & Bujalski, W. 2013. Characterization and Activity Test of Commercial Ni/Al₂O₃, Cu/ZnO/Al₂O₃ and Prepared Ni-Cu/Al₂O₃ Catalysts for Hydrogen Production From Methane and Methanol Fuels. *International Journal of Hydrogen Energy*, 38(3), 1664–1675.
- Kuhl, K. P., Cave, E. R., Abram, D. N., & Jaramillo, T. F. 2012. New Insights into the Electrochemical Reduction of Carbon Dioxide on Metallic Copper Surfaces. *Energy and Environmental Science*, 5(5), 7050–7059.
- Labiba, D., & Pradoto, W. 2018. Sebaran Emisi CO₂ dan Implikasinya Terhadap Penataan Ruang Area Industri di Kabupaten Kendal. *Jurnal Pengembangan*

Kota, 6(2), 164.

- Liu, C. Y., & Sung, C. C. 2012. A Review of the Performance and Analysis of Proton Exchange Membrane Fuel Cell Membrane Electrode Assemblies. *Journal of Power Sources*, 220(1), 348–353.
- Lu, X., Leung, D. Y. C., Wang, H., & Xuan, J. 2016. A High Performance Dual Electrolyte Microfluidic Reactor for the Utilization of CO₂. *Applied Energy*, 194(1), 549–559.
- Mahreni. 2010. Aplikasi Membran Nanokomposit Sebagai Elektrolit Sel Bahan Bakar Hidrogen Pada Proton Exchange Membrane Fuel Cell. *Indonesian Journal of Materials Science*, 12(1), 52–58.
- Malasari, N. N., Onggo, H., & Rokhmat, M. 2014. *Integrasi Polymer Electrolyte Membrane (PEM) Fuel Cell dan Analisis Pengaruh Jumlah Sel terhadap Performansi berdasarkan Data Kurva Karakteristik*.
- Martono, & Komala, N. 2018. Kondisi Konsentrasi Karbon Dioksida di Bukittinggi Selama Kejadian El Nino 2015. *Jurnal Kimia Dan Pendidikan Kimia*, 3(3), 118–125.
- Mauger, S. A., Pfeilsticker, J. R., Wang, M., Medina, S., Yang-Neyerlin, A. C., Neyerlin, K. C., Stetson, C., Pylypenko, S., & Ulsh, M. 2020. Fabrication of High-Performance Gas-Diffusion-Electrode Based Membrane-Electrode Assemblies. *Journal of Power Sources*, 450, 227581.
- Napoli, L., Franco, J., Fasoli, H., & Sanguinetti, A. 2014. Conductivity of Nafion® 117 Membrane Used in Polymer Electrolyte Fuel Cells. *International Journal of Hydrogen Energy*, 39(16), 8656–8660.
- Park, J., Oh, H., Ha, T., Lee, Y. Il, & Min, K. 2015. A Review of the Gas Diffusion Layer in Proton Exchange Membrane Fuel Cells: Durability and Degradation. *Applied Energy*, 155(1), 866–880.
- Park, S., Lee, J. W., & Popov, B. N. 2012. A Review of Gas Diffusion Layer in PEM Fuel Cells: Materials and Designs. *International Journal of Hydrogen Energy*, 37(7), 5850–5865.
- Pujiastuti, S., & Onggo, H. 2016. Effect of Various Concentration of Sulfuric Acid for Nafion Membrane Activation on the Performance of Fuel Cell. *Proceedings*.

- Putra, Y. 2014. *Pengaruh Pencampuran Premium dan Metanol terhadap Emisi Gas Buang Sepeda Motor Vario Techno PGM-FI*. Skripsi.
- Qiao, J., Liu, Y., & Zhang, J. 2016. *Electrochemical Reduction of Carbon Dioxide: Fundamentals and Technologies*. CRC Press.
- Rahmah R, D., Rohendi, D., Syarif, N., Rachmat, A., Sya'baniah, N. F., & Yulianti, D. 2021. Characterization of Electrode with Cu₂O-ZnO/C and Pt-Ru/C Catalyst for Electrochemical Reduction CO₂ to CH₃OH. *Indonesian Journal of Fundamental and Applied Chemistry*, 6(1), 8–13.
- Ramadan, S., & Riyanto, R. 2017. Conversion of Carbon Dioxide to Ethanol by Electrochemical Synthesis Method Using Brass as a Cathode. *Jurnal Eksakta*, 17(2), 86–97.
- Ren, X., Lv, Q., Liu, L., Liu, B., Wang, Y., Liu, A., & Wu, G. 2019. Current Progress of Pt and Pt-based Electrocatalysts used for Fuel Cells. *Sustainable Energy and Fuels*, 4(1), 15–30.
- Rifal, M., & Sinaga, N. 2018. Kaji Eksperimental Rasio Metanol-Bensin terhadap Konsumsi Bahan Bakar, Emisi Gas Buang, Torsi dan Daya. *Gorontalo Journal of Infrastructure and Science Engineering*, 1(1), 47.
- Rohendi, D., Syarif, N., Said, M., Utami, M. T., & Marcelina, Y. 2019. Utilization of Catalyst-Coated Membrane (CCM) and Spraying Methods in Fabrication Membrane Electrode Assembly (MEA) for Direct Methanol Fuel Cell (DMFC) using Pt-Co/C Catalyst. *Journal of Physics: Conference Series*, 1282(1), 1–4.
- Rohendi, D., & Adnan, Y. 2010. Pembuatan Elektroda Fuel Cell dengan Metode Elektrodeposisi Menggunakan Katalis Pt-Cr/C dan Pt/C dan Karakterisasinya. *Jurnal Penelitian Sains*, 13(2).
- Rohendi, D., Majlan, E. H., Mohamad, A. B., Shyuan, L. K., & Raharjo, J. 2016. Comparison of The Performance of Proton Exchange Membrane Fuel Cell (PEMFC) Electrodes with Different Carbon Powder Content and Methods of Manufacture. *Indonesian Journal of Fundamental and Applied Chemistry*, 1(3), 61–66.
- Rohendi, D., Majlan, E. H., Mohamad, A. B., Wan Daud, W. R., Hassan Kadhum, A. A., & Shyuan, L. K. 2013. Characterization of Electrodes and Performance

- Tests on MEAs with Varying Platinum Content and Under Various Operational Conditions. *International Journal of Hydrogen Energy*, 38(22), 9431–9437.
- Sari, M., Santi, D. N., & Chahaya, I. 2013. *Analisa Kadar CO dan NO₂ di Udara dan Keluhan Gangguan Saluran Pernafasan pada Pedagang Kaki Lima di Pasar Sangkumpal Bonang Kota Padangsidempuan Tahun 2013*. 2, 1–9.
- Sen, S., Liu, D., & Palmore, G. T. R. 2014. Electrochemical Reduction of CO₂ at Copper Nanofoams. *ACS Catalysis*, 4(9), 3091–3095.
- Sinaga, N., & Rifal, M. 2017. Pengaruh Komposisi Bahan Bakar Metanol-Bensin Terhadap Torsi dan Daya Sebuah Mobil Penumpang Sistem Injeksi Elektronik 1200 CC. *Rotasi Jurnal Teknik Mesin*, 19(3), 147.
- Tuyen, M., & Le, H. 2011. *Electrochemical Reduction of CO₂ to Methanol*. Thesis.
- Vincent, I., Kruger, A., & Bessarabov, D. 2017. Development of Efficient Membrane Electrode Assembly for Low Cost Hydrogen Production by Anion Exchange Membrane Electrolysis. *International Journal of Hydrogen Energy*, 42(16), 10752–10761.
- Wandira, A. 2021. *Pengaruh Konsentrasi Elektrolit KHCO₃ pada Konversi melalui Metode Reduksi Elektrokimia CO₂ menggunakan Membrane Electrode Assembly (MEA)*. Skripsi: Universitas Sriwijaya.
- Weng, L. C., Bell, A. T., & Weber, A. Z. 2019. Towards Membrane-Electrode Assembly Systems for CO₂ Reduction: A Modeling Study. *Energy and Environmental Science*, 12(6), 1950–1968.
- Xie, H., Wang, T., Liang, J., Li, Q., & Sun, S. 2018. Cu-based Nanocatalysts for Electrochemical Reduction of CO₂. *Nano Today*, 21(1), 41–54.
- Yang, K., Kas, R., Smith, W. A., & Burdyny, T. 2021. Role of the Carbon-Based Gas Diffusion Layer on Flooding in a Gas Diffusion Electrode Cell for Electrochemical CO₂ Reduction. *ACS Energy Letters*, 6(1), 33–40.
- Zheng, Q., Cheng, X., Jao, T. C., Weng, F. B., Su, A., & Chiang, Y. C. 2012. Fuel Cell Performances at Optimized Nafion and Ru₈₅ Se₁₅ Loadings in Cathode Catalyst Layer. *Journal of Power Sources*, 201(1), 151–158.
- Zumdahl, S. S., & Zumdahl, S. A. 2007. *Chemical Principles, 7th edition*. In Evolution.