

**PENGARUH TEMPERATUR DAN WAKTU TERHADAP KONVERSI
CO₂ MENJADI METANOL MENGGUNAKAN *MEMBRANE ELECTRODE
ASSEMBLY* (MEA)**

SKRIPSI



**Disusun oleh :
NIMYO WIN PE
08031281722036**

**JURUSAN KIMIA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS SRIWIJAYA
2021**

HALAMAN PENGESAHAN

PENGARUH TEMPERATUR DAN WAKTU TERHADAP KONVERSI
CO₂ MENJADI METANOL MENGGUNAKAN *MEMBRANE
ELECTRODE ASSEMBLY (MEA)*

SKRIPSI

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk
Memperoleh Gelar Sarjana Bidang Strudi Kimia

Disusun oleh:

Nimyo Win Pe

08031281722036

Telah Disetujui:

PEMBIMBING I



Dr. Dedi Rohendi, M.T

NIP. 196704191993031001

PEMBIMBING II



Nova Yuliasari, M. T

NIP. 19737261999032001

Mengetahui,

Dekan Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam



Hermansyah, S.Si., M.Si., Ph.D.

NIP. 197111191997021001

HALAMAN PERSETUJUAN

Karya tulis ilmiah berupa skripsi ini dengan judul "Pengaruh Temperatur Dan Waktu Terhadap Konversi CO_2 Menjadi Metanol Menggunakan *Membrane Electrode Assembly* (MEA)" telah dipertahankan dihadapan Tim Penguji Karya Ilmiah Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Sriwijaya pada tanggal 24 Juli 2021 dan diperbaiki, diperiksa serta disetujui sesuai masukan yang diberikan.

Inderalaya, Juli 2021

Pembimbing:

1. Dr. Dedi Rohendi, M.T.
NIP. 196704191993031001
2. Nova Yuliasari, M.Si.
NIP. 197307261999032001

()

()

Penguji:

1. Dr. Ady Mara, M.Si.
NIP. 196404301990031003
2. Prof. Dr. Poedji Loekitowati H, M.Si.
NIP. 196808271994022001
3. Dr.rer.nat. Risdian Mohadi, S.Si., M.Si.
NIP. 197711272005011003

()

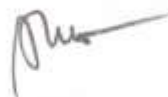
()

()

Mengathui



Ketua Jurusan Kimia

()
Prof. Dr. Muharni.
NIP. 196903261994122001

PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH

Yang bertandatangan di bawah ini:

Nama Mahasiswa : Nimyo Win Pe

NIM : 08031281722036

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 dipublikasi maupun 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 benar

Indralaya, Juli 2021

Penulis



Nimyo Win Pe

NIM. 08031281722036

HALAMAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH UNTUK
KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai civitas akademik Universitas Sriwijaya, yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama Mahasiswa : Nimyo Win Pe
NIM : 08031281722036
Fakultas/Jurusan : MIPA/Kimia
Jenis Karya : Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, saya menyetujui untuk memberikan kepala Universitas Sriwijaya “Pengaruh Temperatur Dan Waktu Terhadap Konversi CO₂ Menjadi Metanol Menggunakan *Membrane Electrode Assembly* (MEA)” Dengan hak bebas royalti 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 ,28 Juli 2021

Yang menyatakan,



Nimyo Win Pe

NIM.08031281722036

MOTTO DAN PERSEMBAHAN

- “Allah SWT tidak membebani seseorang melainkan sesuai dengan kesanggupannya” (QS. AL-Baqarah 2:286).
- “Orang-Orang hebat di bidang apapun bukan baru bekerja karena mereka terinspirasi, namun mereka menjadi terinspirasi karena mereka lebih suka bekerja. Mereka tidak menyia-nyiakan waktu untuk menunggu inspirasi”
- “Hidup seperti bermain sepeda, kita harus tetap mengayuh untuk tetap berjalan dan seimbang. Kalau berhenti ya kita akan jatuh”

Skripsi ini saya persembahkan untuk:

Saya sendiri yang telah berjuang selama ini dan untuk kedua orang tua saya terutama mama yang selalu memberikan dukungan kepada saya

KATA PENGANTAR

Assalamualaikum wr. Wb

Segala puji dan syukur penulis ucapkan kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan segala rahmat, karunia, dan hidayah-Nya yang telah diberikan sehingga skripsi ini dapat diselesaikan tepat pada waktunya. Skripsi ini merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana sains pada Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Jurusan Kimia, Universitas Sriwijaya.

Dalam kesempatan ini, saya sebagai penulis menyadari mendapat banyak dukungan dan bimbingan serta bantuan dari berbagai pihak baik materi maupun moril. Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada bapak **Dr. Dedi Rohendi, M.T** dan ibu **Nova Yuliasari, M.Si.** atas segala bimbingan, motivasi, saran, petunjuk, kesabaran dan waktu yang diluangkan kepada penulis selama menjalankan penelitian dan penyusunan penulis skripsi ini hingga selesai, juga kepada universitas sriwijaya atas bantuan fasilitas dalam penelitian.

Selain itu, penulis juga mengucapkan terima kasih kepada:

Prof. Dr. Iskhaq Iskandar, M.Sc. beserta jajarannya WD I, WD II dan WD III. Fakultas Matematika dan Ilmu pengetahuan Alam Universitas Sriwijaya. Terima kasih karena telah mendukung saya terus maju dan berkembang melalui semua informasi-informasi akademik yang disediakan di Fakultas MIPA.

1. Bapak Dr. Hasanudin, M.Si selaku ketua Jurusan Kimia dan Bapak Dr. Addy Rachmat, M.Si selaku sekretaris Jurusan Kimia, FMIPA, Universitas Sriwijaya.
2. Pak Dr. Dedi Rohendi, M.T. Selaku dosen pembimbing utama. Terima kasih telah bersedia menjadi pembimbing dan sekaligus menjadi orang tua kedua yang selalu membimbing, mengajari, memotivasi dan selalu menyemangati untuk menyelesaikan skripsi ini. Terimakasih atas segala nasehat dukungan moral maupun material kepada Nimyo. Sekali lagi terimakasih pak, banyak pelajaran yang sudah bapak berikan kepada Nimyo.

3. Ibu Nova Yuliasari, M.Si. selaku dosen pembimbing kedua. Terima kasih atas segala bentuk bimbingan, dukungan dan bantuannya kepada Nimyo untuk selalu semangat menyelesaikan skripsi ini. Semoga ibu sehat selalu dan sukses amin.
4. Ibu Dra. Desnelli, M.Si. selaku pembimbing akademik. Terima kasih sudah membimbing, motivasi dan menyemangati selama perkuliahan
5. Pak Dr. Ady Mara, M.Si., ibu Prof. Dr. Poedji Loekitowati H, M.Si dan Dr.rer.nat. Risfidian Mohadi, S.Si., M.Si.. selaku dosen penguji. Terima kasih Bapak dan Ibu sudah memberikan ilmu, saran dan masukan yang sangat bermanfaat dalam penyelesaian skripsi ini.
6. Staf pengajar di Jurusan Kimia, FMIPA, Universitas Sriwijaya, terima kasih atas segala ilmu, materi dan dukungan untuk saya selama proses perkuliahan.
7. Staf administrasi jurusan, Mbak Novi, Kk Iin dan Kak Tejo. Terima kasih telah membantu semua urusan saya di Jurusan Kimia, FMIPA, Universitas Sriwijaya sampai akhir perkuliahan ini.
8. Orang tua saya, mama dan papa serta adek saya, ibu Syamsimar dan bapak U Winpe, yang selalu memberi suport dan dukungan dalam bentuk materi dan motivasi kepada saya.
9. Team PUR Fuel Cell dan Hidrogen Universitas Sriwijaya, terima kasih telah membantu, membimbing, mendukung baik secara moral maupun material selama penelitian. Terima kasih telah menjadi rumah yang hangat kekeluargaannya, terimakasih atas segala waktunya. Semoga kita selalu diberikan kesehatan dan kemudahan dalam segala urusan. Aamiin
10. Tutorku Kak Dwi Hawa Yulianti, M.Si. Terima kasih atas segala ilmu yang diberikan. Terima kasih atas segala kesabaran kakak menghadapi saya yang sangat menjengkelkan selama ini mungkin selama ini saya banyak melakukan salah baik sengaja ataupun tidak sengaja, nimyo mohon maaf kak. Terimakasih banyak kak bantuan, ilmu dan waktu yang luar biasa yang mungkin tidak bisa didapatkan dari orang lain. Terimakasih banyak jugakak atas pelajaran hidup, agama dan semuanya. Semoga kakak diberi kesehatan, sukses selalu dan cepat dapat jodoh yang kakak mau amin.

11. Tutorku kak icha amelia, M.Si. terimakasih atas waktu dan ilmu yang telah diberikan kepada saya dan maaf apabila selama ini saya sering bertanya sehingga membuat kakak kesal. Semoga kedepan nya kak sukses dan sehat selalu amin.
12. Kakak Tim PUR (kak reka, kak dea dan kak lina) terima kasih atas segala dukungan, bantuan dan pelajaran yang kalian berikan hingga ayu banyak pelajaran yang didapat baik pelajaran penelitian maupun pelajaran hidup. Terimakasih atas canda tawa selama di PUR kak. Terimakasih sudah menjadi keluarga yang hangat selama di PUR kak. Lancar luncur untuk kakak.
13. Ayu, terimakasih telah selalu membantu saya dalam membuat skripsi ini terimakasih telah mau direpotkan oleh saya. Semoga kedepan nya ayu sukses selalu serta diberikan kesehatan amin.
14. LAMBE (Putu, Ernak dan Ayu) terimakasih banyak sudah mengisi hari-hariku di dunia perkuliahan, terimakasih banyak sudah saling membantu, memberi dan memotivasi. Terimakasih banyak atas duka tawa dan canda yang kalian berikan, mungkin tanpa kalian hari-hari ku di dunia perkuliahan sangatlah tak bearti.
15. Team PUR 17 (Vadia, Saumi, Resti dan Indra). Terima kasih atas bantuan, dukungan, kerja sama teamnya, dan sudah menjadi bagian dari cerita singkat. Semangat terus untuk kalian dan sukses buat kita.
16. Teman Angkatan 17 yang tidak bisa disebutkan satu persatu, terimakasih atas pengalaman berharga yang telah diberikan.
17. Nadya, terimakasih sudah menjadi teman saya dari sma hingga sekarang, terimakasih telah mau mendengarkan curhatan dan unek unek saya. Semoga kita bisa sukses bareng kedepan nya amin.
18. Kakak-kakak angkatan 2012-2016 dan adik-adik 2018-2019, terimakasih telah menjadi bagian dari hari-hari perkuliahan.
19. Team PUR angkatan 18 (Ade dan sandi) terimakasih atas bantuannya kalian semangat dalam mengerjakan penelitian dan semangat untuk mengerjakan skripsi semoga kalian di beri kelacaran untuk mengerjakannya dan semoga kalian sehat selalu amin.

20. Last but not least, I wanna thank me, I wanna thank me to believeng in me, I wanna thank me fot doing all this hard word, I wanna thank me for having no days off, I wanna thank me for never quitting, for just being me at all times.

Penulis menyadari dalam penulisan skripsi ini masih terdapat banyak kekurangan,semoga skripsi ini bermanfaat bagi kita semua.

Indralaya ,28 Juli 2021

Yang menyatakan,

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'Nimyo Win Pe', written in a cursive style.

Nimyo Win Pe

NIM.08031281722036

SUMMARY

THE EFFECT OF TEMPERATURE AND TIME ON THE CONVERSION OF CO₂ TO METHANOL USING *MEMBRANE ELECTRODE ASSEMBLY* (MEA)

Nimyo Win Pe : Supervised by Dr. Dedi Rohendi, M.T and Nova Yuliasari, M.Si.

Departement of Chemistry, Faculty of Math and Science, Sriwijaya University
xiii + 59 pages. 4 tables. 12 figures. 7 attachments

Along with the times, the energy used is increasing due to an increase in the number of population and the activities of humans themselves. Currently in Indonesia, the most widely used energy source is fossil energy. The continuous use of fossil fuels can result in the depletion of petroleum reserves. Therefore, renewable energy that is environmentally friendly is needed. One of them is by converting CO₂ into methanol using an electrochemical reduction method. The purpose of this study was to determine the percent of metanol, with the influence of temperature and time variations and to determine the characteristics of each electrode. The results of the cyclic voltammetry (CV) test of the electrodes showed that the ECSA value at the Pt/C electrode was 111.96 cm²/g and at the Cu₂O-ZnO/C electrode was 75.67 cm²/g with a trace rate of 50 mV/s. The value of the electrical conductivity electrode with a Pt/C catalyst is 3.429×10^{-4} S/cm and the electrode with a Cu₂O-ZnO/C catalyst is 2.713×10^{-4} S/cm. The results of the conversion of CO₂ into metanol were measured using a methanol analyzer with the effect of temperature showing that the highest percent of metanol was at a temperature of 25 sebesarC at 8.25%, while for the operational time, the highest percent of methanol was at 8 hours with a percent of methanol obtained at 12.245%.

Keywords : Cu₂O-ZnO/C, Pt/C, Cyclic Voltammery, CO₂ conversion, methanol analyzer.

Sitation : 51 (2010-2021).

**PENGARUH TEMPERATUR DAN WAKTU TERHADAP KONVERSI
CO₂ MENJADI METANOL MENGGUNAKAN *MEMBRANE ELECTRODE
ASSEMBLY (MEA)***

Nimyo Win Pe: Dibimbing oleh Dr. Dedi Rohendi, M.T dan Nova Yuliasari, M.Si.

Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Sriwijaya xiii + 59 Halaman. 4 Tabel. 12 Gambar. 7.

Seiring perkembangan zaman energi yang digunakan makin bertambah karna adanya peningkatan jumlah penduduk dan aktifitas dari manusia itu sendiri. Saat ini di indonesia sumber energi yang paling banyak digunakan adalah energi fosil. Penggunaan bahan bakar fosil secara terus menerus dapat mengakibatkan menipisnya cadangan minyak bumi, oleh sebab itu dibutuhkan energi terbarukan yang bersifat ramah lingkungan. Salah satunya dengan mengkonversi CO₂ menjadi metanol menggunakan metode reduksi elektrokimia. Tujuan dilakukannya penelitian ini untuk menentukan persen metanol dengan pengaruh variasi temperatur dan waktu serta untuk menentukan karakteristik dari setiap elektroda. Hasil pengujian cyclic voltammetry (CV) dari elektroda menunjukkan nilai ECSA pada elektroda Pt/C sebesar 111,96 cm²/g dan pada elektroda Cu₂O-ZnO/C sebesar 75,67 cm²/g dengan laju telusur 50 mV/s. Untuk nilai konduktivitas listrik elektroda dengan katalis Pt/C didapatkan sebesar 3,429 x 10⁻⁴ S/cm dan elektroda dengan katalis Cu₂O-ZnO/C sebesar 2,713 x 10⁻⁴ S/cm. Hasil konversi CO₂ menjadi metanol diukur menggunakan metanol *analyzer* dengan pengaruh temperatur menunjukkan persen metanol tertinggi berada pada temperatur 25°C sebesar 8,25 %, sedangkan untuk pengaruh waktu operasional menunjukkan persen metanol tertinggi berada pada waktu 8 jam dengan persen metanol yang didapatkan sebesar 12,24 %.

Keywords : Cu₂O-ZnO/C, Pt/C, Cyclic Voltammetry, CO₂ conversion, metanol analyzer.

Sitation : 51 (2010-2021).

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
HALAMAN PERSETUJUAN	iii
SUMMARY	iv
RINGKASAN	v
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR LAMPIRAN	xi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	2
1.2. Rumusan Masalah.....	3
1.3. Tujuan Penelitian	3
1.4. Manfaat Penelitian	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Karbon dioksida	4
2.2 Konversi Karbon Dioksida	5
2.3 Metanol	6
2.4 Membran Nafion Sebagai Elektrolit.	7
2.5 Elektroda.....	7
2.5.1 Tembaga sebagai elektroda.....	8
2.5.2 Platina sebagai elektroda.....	9
2.6 <i>Membrane Electrode Assembly</i> (MEA)	9
2.7 Karakterisasi Katalis PT/C dan Cu ₂ O-ZnO/C.....	10
2.7.1 <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD)	10
2.7.2 <i>Cyclic Voltammetry</i> (CV).....	10
2.7.3 <i>Electrochemical Impedance Spectroscopy</i> (EIS).....	10
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	11
3.1 Waktu dan Tempat	11
3.2 Alat dan Bahan.....	11
3.3 Prosedur Penelitian	11

3.3.1	Preparasi Katalis Cu ₂ -ZnO/C.....	11
3.3.2	Preparasi Gas <i>Diffusion Layer (GDL)</i>	12
3.3.3	Preparasi Elektroda.....	12
3.3.4	Karakterisasi Elektroda <i>Cyclic Voltammetry (CV)</i>	12
3.3.5	Pengujian <i>Cyclic Voltammetry (CV)</i>	13
3.3.6	Pengujian <i>Electrochemical Impedance Spectroscopy (EIS)</i>	13
3.3.7	Preparasi <i>Membrane Electrode Assembly (MEA)</i>	13
3.3.8	Konversi CO ₂ Menjadi CH ₃ OH secara <i>Elektrokimia</i>	14
3.3.9	Pengukuran Kadar Metanol dengan Analisis Metanol Analyzer.....	15
3.4	Analisis Data	16
3.4.1	Analisis Data XRD	17
3.4.2	Analisis Data CV	18
3.4.3	Analisis Data EIS	
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....		20
4.1	Pembuatan <i>Membrane Electrode Assembly (MEA)</i>	20
4.1.1	Pembuatan Elektroda	20
4.1.2.	Pembuatan Membrane Electrode Assembly (MEA).....	21
4.2	Karakterisasi Elektroda	22
4.2.1	Hasil Karakterisasi dengan <i>X-Ray Diffractometer</i>	22
4.2.2.	Hasil analisis <i>Cyclic Voltammetry (CV)</i>	24
4.2.3.	Hasil Analisis <i>Electrochemical Impedance Spectroscopy (EIS)</i>	26
4.3.	Hasil Konversi Karbon Dioksida (CO ₂) Menjadi Metanol.....	27
4.4.	Konversi CO ₂ Tanpa Katalis.....	31
BAB V KESIMPULAN.....		32
5.1	Kesimpulan.....	32
5.2	Saran.....	32
DAFTAR PUSTAKA		33
LAMPIRAN		34

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 1 Struktur <i>Membran Nafion</i>	07
Gambar 2 MEA untuk PEMFC/DMFC.....	10
Gambar 3 Spektrum XRD dari katalis Cu ₂ O-ZnO/C.....	11
Gambar 4 Spektrum XRD dari katalis PT/C.....	11
Gambar 5 Bagan <i>Reaktor Electrolyzer</i>	16
Gambar 6 Elektroda Cu ₂ O-ZnO/C (a) menggunakan kamera biasa dan (b) menggunakan <i>digital microscope</i>	21
Gambar 7 Elektroda PT/C (a) menggunakan kamera biasa dan (b) menggunakan <i>digital microscope</i>	21
Gambar 8 <i>Membrane Electrode Assembly (MEA)</i>	22
Gambar 9 Difraktogram elektroda dengan katalis (a) Cu ₂ O-ZnO/C dan (b) PT/C.....	22
Gambar 10 Kurva voltammogram dari elektroda Cu ₂ O-ZnO/C dan PT/C..	24
Gambar 11 Hasil <i>fitting</i> kurva <i>Nyquist</i> dari elektroda (a) Cu ₂ O-ZnO/C dan (b) PT/C.....	26
Gambar 12 Reaksi yang terjadi untuk reduksi elektrokimia CO ₂ menjadi metanol pada permukaan katalis.....	27

		Halaman
Tabel 1	Nilai ECSA elektroda Cu ₂ O-ZnO/C.....	18
Tabel 2	Data Hasil Fitting Kurva Nyquist.....	18
Tabel 3	Pengaruh Temperatur Terhadap Produksi Metanol.....	19
Tabel 4	Pengaruh Waktu Terhadap Produksi Metanol.....	19
Tabel 5	Hasil pengukuran XRD pada elektroda Cu ₂ O-ZnO/C dan PT/C.....	23
Tabel 6	Hasil perhitungan ukuran kristal.....	23
Tabel 7	Nilai ECSA elektroda Cu ₂ O-ZnO/C dan PT/C.....	25
Tabel 8	Nilai konduktivitas elektroda Cu ₂ O-ZnO/C dan PT/C.....	26
Tabel 9	Pengaruh temperatur terhadap produksi metanol.....	28
Tabel 10	Pengaruh waktu terhadap produksi metanol.....	29

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran 1 Bagan prosedur penelitian.....	36
Lampiran 2 Skema Pengujian Reduksi Elektrokimia CO ₂	38
Lampiran 3 Data Digital X-Ray Diffraction Pt/C.....	39
Lampiran 4 Data Digital X-Ray Diffraction Cu ₂ O-ZnO/C.....	45
Lampiran 5 Data Perhitungan Ukuran Kristal menggunakan XRD.....	48
Lampiran 6 Tabel dan Kurva Hasil Pengukuran Cyclic Voltammetry (CV)..	49
Lampiran 7 Data <i>Electrochemical Impedance Spectroscopy</i> dan hasil nilai konduktivitas.....	51
Lampiran 8 Perhitungan untuk aktivasi membran.....	53
Lampiran 9 Perhitungan pengaruh temperatur terhadap faktor konversi CO ₂	49
Lampiran 10 Perhitungan pengaruh waktu terhadap faktor konversi CO ₂	51
Lampiran 11 Gambar Alat dan Bahan penelitian.....	53

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Seiring dengan perkembangan zaman, energi yang digunakan semakin meningkat dengan adanya penambahan jumlah dan aktifitas manusia. Saat ini sumber energi yang paling banyak digunakan di Indonesia adalah energi fosil. Energi fosil seperti batu bara dan minyak bumi yang dapat memicu emisi CO₂ di atmosfer (Ahmad dkk., 2013). Apabila konsentrasi CO₂ di atmosfer meningkat maka akan memicu peningkatan temperatur di permukaan bumi (Jimenez *et al.*, 2020). Selain itu, penggunaan bahan bakar fosil yang digunakan secara terus menerus juga dapat mengakibatkan menipisnya cadangan minyak bumi serta menimbulkan polusi gas efek rumah kaca akibat pembakaran bahan bakar fosil. (Sulistiyawati dkk., 2020). Untuk meminimalisir dampak tersebut, diperlukan energi alternatif terbarukan yang bersifat ramah lingkungan (Putro dkk., 2013).

Salah satu alternatif yang dapat mengatasi permasalahan yang disebabkan oleh bahan bakar fosil adalah dengan mengkonversikan CO₂ menjadi metanol. Metode yang dapat dilakukan untuk menurunkan kadar CO₂ di atmosfer dengan cara hidrogenasi gas CO₂ menjadi CH₄ atau CH₃OH, akan tetapi metode hidrogenasi tersebut membutuhkan katalis dan kondisi yang khusus. Selain itu juga, dibutuhkan gas reduktan H₂ yang harganya relatif mahal. Metode lain yang lebih efisien sedang dikembangkan oleh para peneliti adalah reduksi CO₂ secara elektrokimia (Kumar *et al.*, 2016). Metode ini mengkonversikan CO₂ menjadi beberapa produk reduksi seperti CH₃OH, CH₄, HCOOH dan CO (Malik *et al.*, 2016).

Kelebihan dari metode reduksi elektrokimia CO₂ dibandingkan dengan metode lain seperti selektivitas produk yang dihasilkan pada katoda akan berbeda-beda, alat serta bahan yang digunakan sederhana dan metode ini lebih ekonomis dibandingkan dengan metode lain karena tidak membutuhkan kondisi vakum maupun temperatur yang tinggi (Fitriani, 2012). Diantara metode reduksi CO₂ secara elektrokimia yang berguna untuk menghasilkan metanol yakni dengan menggunakan MEA.

MEA tersusun dari dua buah elektroda yaitu anoda dan katoda. MEA tersusun atas gabungan dari katoda dan anoda yang diantara keduanya terdapat membran elektrolit (Rohendi *et al.*, 2013). Pada reaksi reduksi CO₂ menjadi metanol menggunakan MEA, sisi anoda terdapat katalis Pt/C dan pada sisi katoda terdapat katalis Cu₂O-ZnO/C serta elektrolit yang digunakan berupa membran nafion 117. Platina (Pt) merupakan katalis yang memiliki aktivitas katalitik yang tinggi serta konduktivitasnya besar (Jackson *et al.*, 2017).

Selain katalis Pt, katalis Cu₂O juga dipilih sebagai elektroda dalam elektrolisis dikarenakan katalis Cu₂O bersifat non inert dan lebih cepat bereaksi (Hakim., 2015). Sementara itu Cu₂O sering digunakan sebagai katalis dikarenakan harganya yang relatif terjangkau dan mudah diperoleh. Akan tetapi, Cu₂O mudah terdeaktivasi atau mudah tidak aktif pada temperatur tinggi, sehingga akan terjadi reaksi pembentukan produk samping yang tidak diinginkan. Namun persoalan ini dapat dipecahkan dengan cara memodifikasi Cu₂O dengan ZnO, karena ZnO dapat menstabilkan atom Cu dalam pembentukan metanol (Albo *et al.*, 2015).

Penelitian ini dilakukan untuk menentukan pengaruh temperatur dan waktu terhadap produksi metanol. Distribusi produk dalam proses reduksi CO₂ sangat dipengaruhi oleh temperatur (Albo *et al.*, 2015). Pengaruh temperatur terhadap konversi CO₂ menjadi metanol membuat hasil dari produk metanol meningkat karena pada temperatur tertentu selektivitas terhadap pembentukan metanol semakin meningkat (Garcia *et al.*, 2018). Selain itu, waktu reaksi berpengaruh terhadap hasil produk metanol di mana semakin lama waktu reaksi maka produksi metanol semakin meningkat (Tamboli *et al.*, 2016).

Penelitian ini mengkonversi CO₂ menjadi metanol dengan metode reduksi elektrokimia menggunakan paduan katalis Cu₂O-ZnO dalam matriks karbon pada temperatur dan waktu bervariasi. Berbeda dengan penelitian sebelumnya (Albo *et al.*, 2015) yang menggunakan elektroda terpisah dan penyatuan elektrolit cair berupa KHCO₃ sebagai media konversi CO₂ menjadi metanol. Penelitian ini menggunakan MEA dengan menyatukan dua buah elektroda yang mengapit membran nafion sebagai elektrolit padat. Selain itu, karakterisasi elektroda meliputi *Cyclic Voltametry (CV)* dan *Electrochemical Impedance Spectroscopy (EIS)* dilakukan untuk mengidentifikasi sifat elektrokimia elektroda sebelum dibentuk

menjadi MEA. MEA dipasang pada elektrolizer dan hasil konversi CO₂ akan dianalisis Metanol *analyzer* untuk mengetahui kandungan metanol yang diperoleh.

1.2 Rumusan masalah

Berdasarkan latar belakang, dapat ditarik rumusan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana karakteristik elektrokimia dari elektroda dengan menggunakan katalis Cu₂O-ZnO/C dan Pt/C ?
2. Bagaimana pengaruh temperatur dan waktu terhadap produksi metanol melalui reduksi elektrokimia CO₂ ?

1.3 Tujuan penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Menentukan sifat elektrokimia berupa nilai ECSA dan konduktivitas elektrik pada elektroda dengan katalis Cu₂O-ZnO/C dan Pt/C.
2. Menentukan pengaruh temperatur dan waktu konversi CO₂ menjadi metanol menggunakan *Membrane Electrode Assembly* (MEA) dengan bantuan katalis Cu₂O-ZnO/C dan Pt/C.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini diharapkan dapat mengurangi dampak negatif dari bahan bakar fosil berupa emisi gas CO₂. Selain itu, metode reduksi elektrokimia juga dapat menjadi alternatif untuk mengkonversi CO₂ menjadi metanol yang dapat dimanfaatkan sebagai bahan bakar yang ramah lingkungan.

DAFTAR PUSTAKA

- Albo, J., M. Alvarez-Guerra, P. Castaño, and A. Irabien. 2015. "Towards the Electrochemical Conversion of Carbon Dioxide into Metanol." *Green Chemistry* 17(4): 2304–24.
- Albo, Jonathan, and Angel Irabien, 2016. Cu₂O-Loaded Gas Diffusion Electrodes for the Continuous Electrochemical Reduction of CO₂ to Metanol', *Journal of Catalysis*. 343- 232–39 : 11.014.
- Ahmad, D. R., Nugraha, C., dan Setyo, R. H. 2013. Analisis Kebijakan Menggunakan Pemodelan Matematika untuk Pengembangan Industri Bahan Bakar Nabati Bioetanol. *Jurnal Online Institut Teknologi Nasional*. 1(1): 143–155.
- Al-kalbani, H. *et al.* 2016. 'Comparative energetic assessment of metanol production from CO₂: Chemical versus electrochemical process', *Applied Energy*. Elsevier Ltd, 165, pp. 1–13. doi: 10.1016/j.apenergy.2015.12.027.
- Bayahia, H., Mutlaq Al Ghamdi, M. S., Hassan, M. S., and Amna, T. 2017. Facile Synthesis of ZnO-Cu₂O Composite Nanoparticles and Effect of Cu₂O Doping in ZnO on Antimicrobial Activity. *Modern Chemistry & Applications*, 05(04), 2–5. <https://doi.org/10.4172/2329-6798.1000237>
- Bredar, A. R. C., Chown, A. L., Burton, A. R., and Farnum, B. H. 2020. Electrochemical Impedance Spectroscopy of Metal Oxide Electrodes for Energy Applications. *ACS Applied Energy Materials*, 3(1), 66–98. <https://doi.org/10.1021/acsaem.9b01965>
- Cahyadi, A. 2017. *Pengelolaan Kawasan Karst Dan Peranannya Dalam Siklus Karbon Di Indonesia*. 1–14. <https://doi.org/10.31227/osf.io/8gh6d>.
- Cao, Z., Q., Wu, M., Z., Hu, H., B., Ling, G., J., and Zhi, C., Y, 2018. Monodisperse Co₉S₈ nanoparticles in situ embedded within N, S-codoped honeycomb-structured porous carbon for bifunctional oxygen electrocatalyst in a rechargeable Zn–air battery. *NPG Asia Materials*. 10: 670-684.
- Carmo, M., Neto, M. S., and Donadone, J. C. 2019. Financialization in the Automotive Industry: Shareholders, Managers, and Salaries. *Journal of Economic Issues*, 53(3), 841–862. <https://doi.org/10.1080/00213624.2019.1646609>.
- Chen, F., Zhang, P., Zeng, Y., Kosol, R., Xiao, L., Feng, X., Li, J., Liu, G., Wu, J., Yang, G., Yoneyama, Y., and Tsubaki, N. 2020. Vapor-phase low-temperature metanol synthesis from CO₂-containing syngas via self-catalysis of metanol and Cu/ZnO catalysts prepared by solid-state method. *Applied Catalysis B: Environmental*, 279(June), 119382. <https://doi.org/10.1016/j.apcatb.2020.119382>.
- Dewi, Anggraeni Kumala. 2017. *Pengaruh Alur Suhu Terhadap Kualitas Kristal Sn(Seo,T Teol) Hasil Preparasi Dengan Teknik Bridgman Untuk Aplikasi Sel Surya*. Skripsi.
- Fitriani, L. 2012. "Studi Reaksi Reduksi CO₂ Dengan Metode Elektrokimia Menggunakan Elektroda Cu." Universitas Indonesia.
- Ganesh, I. 2014. Conversion of carbon dioxide into metanol – a potential liquid fuel: Fundamental challenges and opportunities (a review). *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 221–257.
- García, J., Jimenez, C., Martinez, F., Camarillo, R., and Ricon, J. 2018. "Electrochemical Reduction of CO₂ Using Pb Catalysts Synthesized in Supercritical Medium." *Journal of Catalysis* 367: 72–80.
- Hakim, S. M., and Pangestu, H. 2015. "Studi Konversi Karbon Dioksida (CO₂) dengan Teknik Reduksi Elektrokimia Menggunakan Elektroda Tembaga (Cu)." *Seminar Nasional Universitas Jendral Achmad Yani Bandung* (June): 2–3.
- Hazarika, J., and Manna, M. S. 2019. Electrochemical reduction of CO₂ to metanol with synthesized Cu₂O nanocatalyst: Study of the selectivity. *Electrochimica Acta*, 328, 135053. <https://doi.org/10.1016/j.electacta.2019.135053>.
- Husin, M. N. 2012. Pengaruh Pupuk Organik Cair NASA terhadap Nitrogen Bintil Akar dan Produksi Macroptilium Atropurpureum. *Jurnal Agripet*, 12(2), 20–23. <https://doi.org/10.17969/agripet.v12i2.198>.
- Huy, H., A., Man, T., V., Tai, H., T., and Ho, V., T. 2016. Preparation And Characterization Of High-Dispersed Pt/C Nano-Electrocatalysts For Fuel Cell Applications. *Journal of Science and Technology*. 53: 472-482.

- Jackson, C., O. Conrad, and P. Levecque. 2017. "Systematic Study of Pt-Ru/C Catalysts Prepared by Chemical Deposition for Direct Metanol Fuel Cells." *Electrocatalysis* 8(3): 224–34.
- Jiménez, C., García, J., Martínez, F., Camarillo, R., and Rincón, J. 2020. "Deposition of Cu on CNT to Synthesize Electrocatalysts for the Electrochemical Reduction of CO₂: Advantages of Supercritical Fluid Deposition Technique." *Journal of Supercritical Fluids* 166.
- Khezri, B., Adrian, A., Fisher., and Pumera, M. 2017. CO₂ reduction: the quest for electrocatalytic materials. *Journal of Materials Chemistry*. 5: 8230–8246.
- Kumar, N., Parui, S. S., Limbu, S., Mahato, D. K., Tiwari, N., & Chauhan, R. N. 2020. Structural and optical properties of sol–gel derived CuO and Cu₂O nanoparticles. *Materials Today. Journal of Chems. 1(1)*: 8–12.
- Lestariningsih, T., Sabrina, Q., dan Majid, N. 2017. Penambahan Tio₂ Dalam Pembuatan Lembaran Polimer Elektrolit Berpengaruh Terhadap Konduktivitas Dan Kinerja Baterai Lithium. *Jurnal Material dan Energi Indonesia* Vol. 07, No. 01: 31 – 37.
- Lin, R., Che, L., Shen, D., and Cai, X. 2020. High durability of Pt-Ni-Ir/C ternary catalyst of PEMFC by stepwise reduction synthesis. *Electrochimica Acta*, 330(xxxx), 135251. <https://doi.org/10.1016/j.electacta.2019.135251>.
- Long, Z., Liyuan, G., Yang, S., Yankai, L., Pengyuan, X., Xiaokang, Z., Junjie, G., Changpeng, L., Shuhua, M., and Zhao, J. 2018. In-Situ Precise Electrocatalytic Behaviors Of Pt/C And PtRu/C For Metanol Oxidation Of Dmfcs Via The Designed Micro-MEA. *international journal of hydrogen energy*. 43: 12413 – 12419.
- 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
- Majanasastra, R. 2016. Analisis Sifat Mekanik Dan Struktur Mikro Hasil Proses Hydroforming Pada Material Tembaga (Cu) C84800 Dan Aluminium Al 6063. *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin Unisma "45" Bekasi*, 4(2), 1–16.
- Majlan, E. H., Rohendi, D., Daud, W. R. W., Husaini, T., and Haque, M. A. 2018. Electrode for proton exchange membrane fuel cells: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 89(March), 117–134. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.03.007>
- Malasari, N., N., Onggo, H., dan Rokhman. 2014. Integrasi Polymer Electrolyte Membrane (Pem) Fuel Cell Dan Analisis Pengaruh Jumlah Sel Terhadap Performansi Berdasarkan Data Kurva Karakteristik. *Jurnal Fakultas Teknik Elektro Universitas Telkom*, 11(3), 1-5.
- Malik, M., Irfan., Malaibari, Z. O., Atieh, M., and Abussaud, B. 2016. "Electrochemical Reduction of CO₂ to Metanol over MWCNTs Impregnated with Cu₂O." *Chemical Engineering Science* 152: 468–77. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ces.2016.06.035>.
- Martín., Gastón., Larrazábal., and Ramírez, J., R. 2015. Towards sustainable fuels and chemicals through the electrochemical reduction of CO₂: lessons from water electrolysis. *Green Chemistry*. 1-3.
- Natalia, K., dan Taer, E. 2019. Pengaruh Suhu Aktivasi Terhadap Sifat Fisis Dan Elektrokimia Elektroda Superkapasitor Dari Limbah Daun Akasia. *Komunikasi Fisika indonesia*. 16(2).
- Nuriana, Y. 2017. Pd Dan Ni Pada Sintesis Material Berbahan Pd- Ni / Graphene Terhadap Unjuk Kerja. 1–79.
- Nurhayati., Akmal, M., dan Abdul, G. 2014. Transesterifikasi Crude Palm Oil(Cpo) Menggunakan Katalis Heterogen Cao Dari Cangkang Kerang Darah (*Anadara Granosa*) Kalsinasi 900. *Ind.Che.Acta*. 5(1). 23-29.
- Okaya, K., Yano, H., Uchida, H and Watanabe, M. 2010. Control of particle size of Pt and Pt alloy electrocatalysts supported on carbon black by the nanocapsule method. *ACS Applied Materials and Interfaces*. 2(3). 888–895.
- Olfan, W., dan Barat, B. 2011. Optimalisasi Pertumbuhan Rumput Laut *Kappaphycus Alvarezii* Utilization Of Carbon Dioxide (Co₂) For The Optimization Of The Growth Of Seaweed *Kappaphycus Alvarezii*.
- Putro., Handoko, H., Nugraha, C., and Setyo, H. R. 2013. "Analisis Kebijakan Menggunakan Pemodelan Matematika Untuk Pengembangan Industri Bahan Bakar Nabati Bioetanol." *Reka Integra ISSN: 2338-5081 Jurnal Online Institut Teknologi Nasional* 1(1): 143–55.
- Rifal, M., dan 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. <https://doi.org/10.32662/gojise.v1i1.140>.
- Rohendi, D., dan 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. 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): 9431–37. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijhydene.2013.03.093>.
- Rohendi, D., Majlan, E. H., Mohamad, A. H., Daud, W. R., Kadhum, A. A. H., and Shyuan, L. K. 2015. Effects Of Temperature And Backpressure On The Performance Degradation Of MEA In PEMFC *International Journal Of Hydrogen Energy*, 40.34 : 10960–68.
- Rohendi, D., Majlan, E. H., Mohamad, A. B., Shyuan, L. K., and 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. <https://doi.org/10.24845/ijfac.v1.i3.61>.
- Samiaji, T. 2011. Gas CO₂ Di Wilayah Indonesia. *Jurnal Berita Dirgantara*, 12(2), 68–75.
- Sinaga, N., dan Rifal, M. 2017. Pengaruh Komposisi Bahan Bakar Metanol-Bensin Terhadap Torsi Dan Daya Sebuah Mobil Penumpang Sistem Injeksi Elektronik 1200 CC. *Rotasi*, 19(3), 147. <https://doi.org/10.14710/rotasi.19.3.147-155>
- Sulistiyawati., Indah., Rahayu, N. L., and Purwitaningrum, F. S. 2020. "Produksi Biolistrik Menggunakan Microbial Fuel Cell (MFC) Lactobacillus Bulgaricus Dengan Substrat Limbah Tempe Dan Tahu." *Biosfera : A Scientific Journal* 37(2): 112–17.
- Tamboli, A. H., Chaugule, A. A., and Kim, H. 2016. "Highly Selective and Multifunctional Chitosan/Ionic Liquids Catalyst for Conversion of CO₂ and Metanol to Dimethyl Carbonates at Mild Reaction Conditions." *Fuel* 166: 495–501. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fuel.2015.11.023>.
- Tenga, X., Suna, C., Dai, J., Liua, H., Sua, L., and Li, F. 2013. Solution casting Nafion/polytetrafluoroethylene membrane for vanadium redox flow battery application. *Electrochimica Acta*. 88: 725–734.
- Topnani, N., Kushwaha, S and Athar, T. 2010. Wet Synthesis of Copper Oxide Nanopowder. *International Journal of Green Nanotechnology: Materials Science and Engineering*. 1(2) : 1-22.
- Utama, T. H., Ramlan, dan Subhan, A. 2015. Studi Pengaruh Bahan Aditif Multi Walled Carbonnanotube (MWCNT) dan Acetylene Black (AB) pada Komposit LTO sebagai Bahan Elektroda untuk Baterai Li-ion. 17(September), 143–148.
- Wulandari, R. 2018. Karakterisasi Membrane Electrode Assembly (Mea) Dengan Katalis Pt-Ru / C Menggunakan Metode Catalyst-Coated Membrane (Ccm) Dan Uji Kinerja Pada Direct Metanol Fuel Cell (Dmfc). 1(1) :1- 44.
- Ye, H., Na, W., Gao, W., and Wang, H. 2020. Carbon modified CuO/ZnO catalyst with high oxygen vacancy for CO₂ hydrogenation to metanol. *International Journal*. 1-28.
- Zheng, Q., Cheng, X., Jao, T. C., Weng, F. B., Su, A., and Chiang, Y. C. 2012. Fuel cell performances at optimized Nafion and Ru 85Se 15 loadings in cathode catalyst layer. *Journal of Power Sources*, 201, 151–158. <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2011.11.011>.

