

**KONVERSI KARBON DIOKSIDA MENJADI METANOL DENGAN
KATALIS $\text{Cu}_2\text{O}/\text{C}$ DAN $\text{Cu}_2\text{O}-\text{ZnO}/\text{C}$ DENGAN VARIASI TEGANGAN
LISTRIK DAN WAKTU REAKSI**

SKRIPSI

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



Oleh:

ENO SAVITRI OKTAVIANI

08031282025020

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

2024

HALAMAN PENGESAHAN

**KONVERSI KARBON DIOKSIDA MENJADI METANOL DENGAN
KATALIS $\text{Cu}_2\text{O}/\text{C}$ DAN $\text{Cu}_2\text{O}-\text{ZnO}/\text{C}$ DENGAN VARIASI TEGANGAN
LISTRIK DAN WAKTU REAKSI**

SKRIPSI

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

Oleh:

Eno Savitri Oktaviani

08031282025020

Indralaya, 20 Maret 2024

Mengetahui,

Pembimbing 1



Prof. Drs. Dedi Rohendi, M. T., Ph. D

NIP. 196704191993031001

Pembimbing II



Dra. Fatma, M. S.

NIP. 196207131991022001

Dekan FMIPA



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

NIP. 197111191997021001

HALAMAN PERSETUJUAN

Karya tulis ilmiah berupa skripsi Eno Savitri Oktaviani (08031282025020) dengan judul "Konversi Karbon Dioksida menjadi Metanol dengan Katalis $\text{Cu}_2\text{O}/\text{C}$ Dan $\text{Cu}_2\text{O}-\text{ZnO}/\text{C}$ dengan Variasi Tegangan Listrik dan Waktu Reaksi" telah disidangkan di hadapan Tim Penguji Sidang Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Sriwijaya pada tanggal 19 Maret 2024 dan telah diperbaiki, diperiksa, serta disetujui sesuai masukan yang telah diberikan.

Indralaya, 20 Maret 2024

Ketua:

1. **Dr. Eliza, M. Si.**
NIP. 196407291991022001

()

Sekretaris:

2. **Dra. Julinar, M. Si.**
NIP. 196507251993032002

()

Pembimbing

1. **Prof. Drs. Dedi Rohendi, M. T., Ph. D.**
NIP. 196704191993031001
2. **Dra. Fatma, M. S.**
NIP. 196207131991022001

()

()

Penguji

1. **Dr. Desnelli, M. Si.**
NIP. 196912251997022001
2. **Dr. Nurlisa Hidayati, M. Si.**
NIP. 197211092000032001

()

()

Mengetahui,

Dekan FMIPA



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

Ketua Jurusan Kimia



Prof. Dr. Muharni, M. Si
NIP. 196903041994122001

PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama Mahasiswa : Eno Savitri Oktaviani

NIM : 08031282025020

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.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Indralaya, 20 Maret 2024

Penulis,



Eno Savitri Oktaviani
NIM. 08031282025020

HALAMAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

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

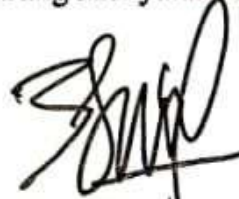
Nama Mahasiswa : Eno Savitri Oktaviani
NIM : 08031282025020
Fakultas/Jurusan : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam/Kimia
Jnis Karya : Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, saya menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Sriwijaya "hak bebas royalti non-eksklusif (*non-exclusively royalty-free right*) atas karya ilmiah saya yang berjudul : "Konversi Karbon Dioksida menjadi Metanol dengan Katalis $\text{Cu}_2\text{O}/\text{C}$ Dan $\text{Cu}_2\text{O}-\text{ZnO}/\text{C}$ dengan Variasi Tegangan Listrik dan Waktu Reaksi". Dengan hak bebas royalti non-eksklusif ini Universitas Sriwijaya berhak menyimpan, 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.

Demikianlah pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya.

Indralaya, 20 Maret 2024

Yang Menyatakan,



Eno Savitri Oktaviani

NIM. 08031282025020

HALAMAN PERSEMBAHAN

Bismillahirrohmanirrohim. Dengan menyebut nama Allah Yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang. Segala puji bagi Allah, Tuhan seluruh alam.

"Boleh jadi kamu membenci sesuatu, padahal ia amat baik bagimu, dan boleh jadi (pula) kamu menyukai sesuatu, padahal ia amat buruk bagimu. Allah mengetahui sedang kamu tidak mengetahui."

(Qs. Al Baqarah:216).

"Allah menghapuskan apa yang Dia kehendaki dan menetapkan (apa yang Dia kehendaki), dan di sisi-Nya-lah terdapat Ummul-Kitab (Lauhul Mahfuzh)."

(QS Ar-Ra'd: 39).

"Takdir memang seperti ini, sangat menarik. Semula kau ingin berkelana ke utara, tapi dia malah membuatmu terbang ke selatan, bahkan berpindah dengan sukarela."

(Giddens Ko)

Skripsi ini sebagai salah satu rasa syukur kepada Allah SWT atas segala nikmat dan kasih sayang yang diberikan kepada penulis sehingga penulis bisa menyelesaikan ini dengan baik dan penuh keyakinan hati. Dan kupersembahkan juga kepada:

1. Kedua orang tua, Bapak Jekriadi dan Ibu Yuriah yang selalu ada dan setia serta mendoakan dan memberi support dalam segala hal baik.
2. Niken Safitri dan Nikita Kirana selaku adik-adik mbak tersayang.
3. Alm. Kakek Yusman dan Alm. Nenek Gemiaty dan Susilowati yang semasa kecilku selalu mendoakan dan percaya dengan kemampuan yang eno miliki
4. Pembimbing Tugas Akhir dan Akademik, Kakak-kakak mentor dan Teman-temanku
5. Almamaterku (Universitas Sriwijaya).

KATA PENGANTAR

Dengan mengucapkan Bismillahirrahmanirrahim dan segala puji syukur kehadirat Allah SWT yang telah memberikan rahmat serta karuniannya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Konversi Karbon Dioksida menjadi Metanol dengan Katalis $\text{Cu}_2\text{O}/\text{C}$ Dan $\text{Cu}_2\text{O}-\text{ZnO}/\text{C}$ dengan Variasi Tegangan Listrik dan Waktu Reaksi”. Skripsi ini dibuat sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana sains pada Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Jurusan Kimia Universitas Sriwijaya.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini tak luput dari ketidaksempurnaan dan kekurangan serta rintangan dalam penyelesaian proses penyusunan. Namun, atas kesabaran dan rasa penuh tanggung jawab serta berkat dukungan orang-orang baik, akhirnya dan alhamdulillah penulis dapat menyelesaikan skripsi ini. Penulis juga sangat mengucapkan banyak terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Bapak Prof. Drs. Dedi Rohendi, M. T., Ph. D. dan Ibu Dra. Fatma, M. S. yang telah banyak memberikan bimbingan, bantuan, motivasi, dan semangat kepada penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.

Penulis juga menyampaikan terima kasih kepada:

1. Bapak Prof. Hermansyah, S.Si.,M.Si.,Ph.D. selaku Dekan FMIPA Universitas Sriwijaya .
2. Ibu Prof. Dr. Muharni, M.Si selaku Ketua Jurusan Kimia FMIPA Universitas Sriwijaya dan Bapak Dr. Addy Rachmat, M.Si selaku Sekretaris Jurusan Kimia FMIPA Universitas Sriwijaya.
3. Bapak Dr. Dedi Rohendi, M,T selaku dosen Pembimbing Tugas Akhir yang telah memberikan bimbingan dalam penulisan skripsi ini.
4. Ibu Dra. Fatma, M. S. selaku dosen Pembimbing Akademik sekaligus Pembimbing Tugas Akhir kedua yang telah memberikan pengarahan dan bimbingan selama masa studi.
5. Ibu Dr. Desnelli, M.Si dan Ibu Dr. Nurlisa Hidayati, 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. Mbak Novi dan Kak Chosiin selaku admin jurusan yang telah banyak

membantu dan memberikan penjelasan informasi kepada penulis sehingga tugas akhir ini dapat diselesaikan dengan baik.

8. Kepada kedua orang tua tersayang, Bapak Jekriadi dan Ibu Yuriah yang telah banyak memberikan doa dan dukungannya baik dari segi material maupun mental. Walaupun ga dikasih izin buat kuliah di luar kota Palembang, tapi terima kasih karena pernah diizinkan buat ikut pertukaran mahasiswa yang akhirnya mbak tetep bisa ngerasain kuliah di luar kota Palembang. Mbak sayang kalian. Love You More.
9. Kepada kedua adik mbak tersayang, Niken Safitri dan Nikita Kirana yang telah banyak menghibur mbak kalo lagi pusing. Sehat-sehat yang sayang, mbak pastiin kita bakalan sama-sama sukses dalam segala hal, aamiin.
10. Kepada Alm. Kakek Yusman, Nenek Gemiati dan Nenek Susilowati, makasih atas kasih sayang yang diberikan kepada mbak. Makasih juga udah percaya kalo mbak bakalan lebih sukses dari kalian. Teruntuk kakek dan nenek, akhirnya mbak bisa sarjana di usia 20 tahun ini. Sayang kalian.
11. Kepada Alm. Kak Apri yang selalu melimpahkan kasih sayangnya kepada keponakanmu tercinta ini. Kelulusan S1 ini, Eno hadiahkan buat kakak yang dibulan April nanti berulang tahun. Ternyata udah 14 tahun ya kita ga bareng lagi. Kangen.
12. Kepada Cicik tersayang, Vio Ria Seven, yang selalu sayang Eno. Walaupun kita beda weton dan banyak ga akur nya, tapi makasih selalu ada buat keponakan tercantikmu ini.
13. Kepada Kak Reka, Kak Dwi, Kak Ica, dan Kak Yolan yang telah banyak membantu Eno dalam penelitian, maaf jika masih banyak kurangnya. Eno bersyukur bisa kenal kakak-kakak yang selalu memberi dukungan, masukan dan hal-hal baik lainnya. Eno sayang kalian dan makasih udah jadi salah satu keluarga Eno disini.
14. Kepada Wahyu dan Puma yang tetep setia menjadi temen Eno. Bagaimanapun takdir kita nantinya, aku harap kita bakalan terus sama-sama ya. Love You Guys.

15. Kepada Hawa dan Caca yang sayang dan selalu ngebantu dalam hal apapun. Caca semangat ya buat kedepannya, aku yakin kamu bisa. Hawa semangat juga buat kedepannya. Semoga nantinya, kita bakalan tetep jadi temen ya.
16. Kepada Kakak Asuh 19, Kak Ade Marisa yang memberikan banyak arahan selama kuliah di Jurusan Kimia. Sehat-sehat ya kak. Kangen kakak.
17. Kepada Temen-Temen PUR 20 (Liak, Mayu, Kira, Dina, Tere, dan Putri) sukses selalu ya. Doa yang terbaik buat kalian. Para bidadari PUR 20 yang selalu mandiri dan semangat dalam hal apapun.
18. Kepada Temen-Temen Kimia Angkatan 20, kita punya waktu dan jalannya masing-masing, jadi jangan pernah merasa bahwa langkah kita lebih lambat dibandingkan dengan yang lain. Semangat penelitiannya, semangat dalam segala hal. Doa terbaik untuk kita semua.
19. Kepada kepada Ayuk Analis dan Temen-Temen Asisten LKU tercinta, semangat terus dalam mengajar adik-adik manis yang bandel. Semangat ya buat meraih gelarnya masing-masing. Seneng banget bisa kenal kalian yang berbeda jurusan, mulai dari Jurusan Kimia, Farmasi, Fisika, Biologi, Pend. Kimia, Teknik Tambang, Teknik Geologi dan Teknik Kimia. Sukses selalu buat kita.
20. Kepada Temen-Temen KKN ku tercinta yang banyak memberikan pelajaran tentang kehidupan. Semangat buat kedepannya, dan semoga kita semua tetap di jalan yang benar, aamiin.
21. Kepada Juna yang selalu ada disaat aku butuh, disaat aku pusing penelitin, selalu support aku dalam banyak hal dan makasih karena pernah mewujudkan salah satu keinginanku, yaitu keliling dan metik strawberry langsung dari pohonnya. Semangat meraih gelar drg-nya.
22. Kepada diriku sendiri, Eno Savitri Oktaviani terimakasih sudah bertahan sejauh ini. Terima kasih karena mencintai diri sendiri. Menjadi anak pertama dan cucu pertama ternyata memang beneran ga mudah, banyak harapan dan tanggung jawab yang harus kamu bawa. Selamat ya, akhirnya kamu bisa mewujudkan satu harapan keluarga, menjadi

harapan dan tanggung jawab yang harus kamu bawa. Selamat ya, akhirnya kamu bisa mewujudkan satu harapan keluarga, menjadi seorang sarjana diusia yang muda ini. Ikhlas dan maafkan segala hal yang membuatmu sakit. I'm proud of me.

Semoga jasa-jasa dan kebaikan bapak, ibu, saudara dan teman-teman menjadi perhitungan untuk menambah amal dan pahala yang di terima Allah SWT. Dengan keredahan hati, penulis meminta maaf apabila dalam penulisan ini terdapat kekhilafan dan kata yang menyinggung hati. Penulis menyadari skripsi ini masih banyak kekurangan, sehingga penulis sangat mengharapkan kritik dan saran dari pembaca. Mudah-mudahan skripsi ini dapat bermanfaat bagi kita semua dan semoga Tuhan melindungi dan memberkati kita semua.

Indralaya, 20 Maret 2024



Penulis

SUMMARY

CONVERSION OF CARBON DIOXIDE INTO METHANOL USING Cu₂O/C AND Cu₂O-ZnO/C CATALYST WITH VARIATION OF ELECTRIC VOLTAGE AND REACTION TIME

Eno Savitri Oktaviani: Supervised by Prof. Drs. Dedi Rohendi, M. T., Ph. D and
Dra. Fatma, M.S.

Chemistry, Faculty of Mathematics and Natural Sciences, Sriwijaya University
x + 64 pages, 6 tables, 12 figures, 14 attachment

Conversion of Carbon Dioxide into Methanol with Cu₂O/C and Cu₂O-ZnO/C Catalysts with Varying Electrical Voltage and Reaction Time has been carried out. This research uses MEA which consists of an proton exchange membrane and electrodes where the electrode on the anode side is coated with a Cu₂O/C catalyst and on the cathode side it is coated with a Cu₂O-ZnO/C catalyst. The electrodes were characterized using the *Scanning Electron Microscope - Energy Dispersive X-Ray* (SEM-EDX) method to show the morphology, electrode thickness and Cu content contained in the Cu₂O/C electrode. The Cyclic Voltammetry (CV) method shows the Electrochemical Surface Area (ECSA) value while the Electrochemical Impedance Spectroscopy (EIS) method shows the electrical conductivity value. The conversion of carbon dioxide into methanol was carried out using a single stack at a flow rate of 160 mL/minute with electrical voltage variations of 1.2 volts, 1.4 volts, 1.6 volts, 1.8 volts, and 2 volts and reaction time variations of 2 hours, 4 hours, 6 hour, and 8 hour. The results of the carbon dioxide conversion in the form of methanol products were tested using the Analox AM5 Methanol Analyzer to obtain the methanol percentage value. The results of electrode characterization using the SEM-EDX method show that the thickness of the Cu₂O/C electrode is 277.14 μm with a Cu content of 6,118 Wt% for weight concentration and 1,393% for atomic concentration. The results of electrode characterization using the Cyclic Voltammetry (CV) method show that the Electrochemical Surface Area (ECSA) value for the Cu₂O/C electrode is 5.493 m^2/g and the Cu₂O-ZnO/C electrode is 0.334 m^2/g . Electrode characterization using the Electrochemical Impedance Spectroscopy (EIS) method shows that the electrical conductivity value for the Cu₂O/C electrode is 0.055 S/cm and the Cu₂O-ZnO/C electrode is 0.024 S/cm. The conversion of carbon dioxide produces a percentage of methanol at each different electrical voltage and reaction time. The optimum electrical voltage and reaction time can be seen from the value of the largest percentage of methanol produced in the conversion process. The optimum electrical voltage and optimum reaction time were obtained at an electrical voltage of 1.8 volts and a reaction time of 4 hours with a methanol percentage of 24% b/v.

Keywords : CO₂ Conversion, MEA, Cu₂O/C Catalyst, Cu₂O-ZnO/C Catalyst,
Cyclic Voltammetry, Electrochemical Impedance Spectroscopy,
Methanol

Citations : 55 (2010-2023)

RINGKASAN

KONVERSI KARBON DIOKSIDA MENJADI METANOL DENGAN KATALIS $\text{Cu}_2\text{O}/\text{C}$ DAN $\text{Cu}_2\text{O}-\text{ZnO}/\text{C}$ DENGAN VARIASI TEGANGAN LISTRIK DAN WAKTU REAKSI

Eno Savitri Oktaviani: Dibimbing oleh Prof. Drs. Dedi Rohendi, M. T., Ph. D dan Dra. Fatma, M. S.

Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Sriwijaya
x + 64 halaman, 6 tabel, 12 gambar, 14 lampiran

Konversi Karbon Dioksida menjadi Metanol dengan Katalis $\text{Cu}_2\text{O}/\text{C}$ dan $\text{Cu}_2\text{O}-\text{ZnO}/\text{C}$ dengan Variasi Tegangan Listrik dan Waktu Reaksi telah dilakukan. Penelitian ini menggunakan MEA yang terdiri dari membran penukar proton dan elektroda dimana elektroda pada sisi anoda dilapisi katalis $\text{Cu}_2\text{O}/\text{C}$ dan pada sisi katoda dilapisi oleh katalis $\text{Cu}_2\text{O}-\text{ZnO}/\text{C}$. Elektroda dikarakterisasi menggunakan metode *Scanning Electron Microscope - Energy Dispersive X-Ray* (SEM-EDX) untuk menunjukkan morfologi, ketebalan elektroda dan kadar Cu yang terkandung pada elektroda $\text{Cu}_2\text{O}/\text{C}$. Metode *Cyclic Voltammetry* (CV) untuk menunjukkan nilai *Electrochemical Surface Area* (ECSA) sedangkan metode *Electrochemical Impedance Spectroscopy* (EIS) untuk menunjukkan nilai konduktivitas listrik. Konversi karbon dioksida menjadi metanol dilakukan dengan menggunakan *single stack* pada laju alir 160 mL/menit dengan variasi tegangan listrik 1,2 volt, 1,4 volt, 1,6 volt, 1,8 volt, dan 2 volt dan variasi waktu reaksi 2 jam, 4 jam, 6 jam, dan 8 jam. Hasil konversi karbon dioksida berupa produk metanol diuji menggunakan *Methanol Analyzer AM5 Analox* untuk mendapatkan nilai persentase metanol. Hasil karakterisasi elektroda dengan metode SEM-EDX menunjukkan bahwa ketebalan elektroda $\text{Cu}_2\text{O}/\text{C}$ sebesar 277,14 μm dengan kadar Cu sebesar 6.118 Wt% untuk konsentrasi berat dan 1.393% untuk konsentrasi atom. Hasil karakterisasi elektroda dengan metode *Cyclic Voltammetry* (CV) menunjukkan nilai *Electrochemical Surface Area* (ECSA) pada elektroda $\text{Cu}_2\text{O}/\text{C}$ sebesar 5,493 m^2/g dan elektroda $\text{Cu}_2\text{O}-\text{ZnO}/\text{C}$ sebesar 0,334 m^2/g . Karakterisasi elektroda dengan metode *Electrochemical Impedance Spectroscopy* (EIS) menunjukkan nilai konduktivitas listrik pada elektroda $\text{Cu}_2\text{O}/\text{C}$ sebesar 0,055 S/cm dan elektroda $\text{Cu}_2\text{O}-\text{ZnO}/\text{C}$ sebesar 0,024 S/cm. Konversi karbon dioksida menghasilkan persentase metanol pada setiap tegangan listrik dan waktu reaksi berbeda. Tegangan listrik dan waktu reaksi optimum dilihat dari nilai persentase metanol terbesar yang dihasilkan pada proses konversi. Tegangan listrik optimum dan waktu reaksi optimum didapatkan pada tegangan listrik 1,8 volt dan waktu reaksi 4 jam dengan persentase metanol sebesar 24%b/v.

Kata Kunci : Konversi CO_2 , MEA, Katalis $\text{Cu}_2\text{O}/\text{C}$, Katalis $\text{Cu}_2\text{O}-\text{ZnO}/\text{C}$, *Cyclic Voltammetry*, *Electrochemical Impedance Spectroscopy*, Metanol

Kutipan : 55 (2010-2023)

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN PENGESAHAN	i
HALAMAN PERSETUJUAN	ii
PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH	iii
HALAMAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS	iv
HALAMAN PERSEMBAHAN	v
KATA PENGANTAR	vi
SUMMARY	x
RINGKASAN	xi
DAFTAR ISI	xii
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL	xvi
DAFTAR LAMPIRAN	xvii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	2
1.4 Manfaat Penelitian	2
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	3
2.1 Karbon Dioksida	3
2.2 Konversi Karbon Dioksida.....	3
2.3 <i>Membran Electrode Assembly (MEA)</i>	5
2.4 Elektroda	5
2.4.1 <i>Gas Diffusion Layer (GDL)</i>	5
2.4.2 Lapisan Katalis	6
2.5 Membran Nafion	7
2.6 <i>Milling</i> (Penggilingan)	8
2.7 <i>Process Control Agent (PCA)</i>	8
2.8 <i>Scanning Electron Microscopy (SEM)</i>	9
2.9 <i>Cyclic Voltammetry (CV)</i>	10
2.10 <i>Electrochemical Impedance Spectroscopy (EIS)</i>	11

2.11 Metanol	12
2.12 <i>Methanol Analyser</i>	12
BAB III METODELOGI PENELITIAN.....	13
3.1 Waktu dan Tempat	13
3.2 Alat dan Bahan	13
3.2.1 Alat	13
3.2.2 Bahan	13
3.3 Prosedur Penelitian.....	13
3.3.1 Preparasi <i>Gas Diffusion Layer</i> (GDL).....	13
3.3.2 Preparasi Katalis.....	14
3.3.2.1 Preparasi Serbuk Katalis Cu ₂ O/C.....	14
3.3.2.2 Preparasi Serbuk Katalis Cu ₂ O-ZnO/C	14
3.3.3 Preparasi Elektroda	14
3.3.3.1 Elektroda Cu ₂ O/C (Anoda)	14
3.3.3.2 Elektroda Cu ₂ O-ZnO/C (Katoda)	15
3.3.4 Karakterisasi Elektroda dengan Metode <i>Scanning Electron Microscopy</i> (SEM)	15
3.3.5 Karakterisasi Elektroda dengan Metode <i>Cyclic Voltammetry</i> (CV).....	15
3.3.6 Karakterisasi Elektroda dengan Metode <i>Electrochemical Impedance Spectroscopy</i> (EIS)	16
3.3.7 Preparasi <i>Membrane Electrode Assembly</i> (MEA)	16
3.3.8 Konversi Karbon Dioksida menjadi Metanol secara Reduksi Elektrokimia	17
3.3.9 Analisis <i>Methanol Analyzer AM5 Analox</i>	17
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	21
4.1 Pembuatan <i>Gas Diffusion Layer</i>	21
4.2 Preparasi Katalis Cu ₂ O/C dan Cu ₂ O-ZnO/C	22
4.3 Preparasi Elektroda Cu ₂ O/C dan Cu ₂ O-ZnO/C	22
4.4 Hasil Analisis <i>Scanning Electron Microscopy</i> (SEM)	23
4.5 Hasil Analisis <i>Cyclic Voltammetry</i> (CV).....	26
4.6 Hasil Analisis <i>Electrochemical Impedance Spectroscopy</i> (EIS)	28

4.7 Pembuatan <i>Membrane Electrode Assembly</i> (MEA).....	30
4.8 Hasil Konversi Karbon Dioksida menjadi Metanol dengan Variasi Tegangan Listrik dan Waktu Reaksi	31
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	35
5.1 Kesimpulan	35
5.2 Saran	35
DAFTAR PUSTAKA	36
LAMPIRAN.....	42

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 1. Skema Reduksi Elektrokimia CO ₂	4
Gambar 2. Skema Struktur GDL.....	6
Gambar 3. Struktur Kimia Membran Nafion.	8
Gambar 4. Set Perangkat <i>Scanning Elektron Microscopy</i> (SEM).	9
Gambar 5. Blok Diagram <i>Scanning Electron Microscopy</i>	10
Gambar 6. (a) Elektroda Cu ₂ O/C (b) Elektroda Cu ₂ O-ZnO/C.....	23
Gambar 7. Morfologi Elektroda Cu ₂ O/C	24
Gambar 8. Ketebalan Elektroda Cu ₂ O/C	24
Gambar 9. SEM-EDX Elektroda Cu ₂ O/C.....	25
Gambar 10. Kurva Voltammogram Elektroda (a) Cu ₂ O/C (b) Cu ₂ O-ZnO/C..	27
Gambar 11. Kurva Nyuist (a) Elektroda Cu ₂ O/C (b) Elektroda Cu ₂ O-ZnO/C	29
Gambar 12. Pengaruh Tegangan dan Waktu Reaksi terhadap Persentase Metanol.....	32

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 1. Reaksi Elektrokimia pada Konversi CO ₂ menjadi Metanol.....	4
Tabel 2. Data analisis nilai ECSA elektroda Cu ₂ O/C dan Cu ₂ O-ZnO/C.....	18
Tabel 3. Data analisis nilai konduktivitas elektroda Cu ₂ O/C dan Cu ₂ O-ZnO/C	19
Tabel 4. Data analisis hasil konversi CO ₂ menjadi Metanol.....	19
Tabel 5. Nilai ECSA elektroda Cu ₂ O/C dan Cu ₂ O-ZnO/C.....	27
Tabel 6. Nilai konduktivitas listrik elektroda Cu ₂ O/C dan Cu ₂ O-ZnO/C.....	30

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran 1. Pembuatan <i>Gas Diffusion Layer</i> (GDL).....	43
Lampiran 2. Preparasi Katalis	44
Lampiran 3. Preparasi Elektroda.....	45
Lampiran 4. Aktivasi Membran Nafion-117.....	47
Lampiran 5. Pembuatan MEA.....	48
Lampiran 6. Konversi Karbon Dioksida menjadi Metanol.....	49
Lampiran 7. Perhitungan Pembuatan GDL.....	50
Lampiran 8. Perhitungan Preparasi Katalis $\text{Cu}_2\text{O}/\text{C}$ dan $\text{Cu}_2\text{O}-\text{ZnO}/\text{C}$	51
Lampiran 9. Perhitungan Pembuatan Elektroda.....	52
Lampiran 10. Perhitungan Elektroda $\text{Cu}_2\text{O}/\text{C}$	53
Lampiran 11. Tabel dan Kurva Hasil Pengukuran <i>Cyclic Voltammetry</i> (CV).	55
Lampiran 12. Tabel dan Kurva Hasil Pengukuran <i>Electrochemical Impedance Spectroscopy</i> (EIS)	59
Lampiran 13. Data dan Hasil Perhitungan Konversi CO_2 menjadi Metanol dengan <i>Methanol Analyzer</i>	62
Lampiran 14. Gambar Alat dan Bahan Penelitian	63

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Meningkatnya kadar karbon dioksida secara signifikan dapat menyebabkan kerusakan lingkungan serta pemanasan global. Berbagai cara telah dilakukan sebagai bentuk penanggulangan terhadap peningkatan karbon dioksida (Dwivedi *et al.*, 2017) salah satunya dengan mengembangkan proses yang efisien dalam mengolah karbon dioksida menjadi produk yang lebih bermanfaat seperti metanol. Metanol merupakan salah satu produk industri petrokimia yang berperan sebagai sumber energi bersih dan dapat digunakan sebagai bahan bakar, pelarut, dan lainnya (Haghighatjoo *et al.*, 2023). Untuk mengkonversi karbon dioksida menjadi metanol dapat dilakukan dengan berbagai metode, seperti metode reduksi elektrokimia, metode reduksi fotoelektrokatalitik, metode reduksi fotokimia dan metode konversi kimia. Metode reduksi elektrokimia memiliki keuntungan, yaitu efisiensi energi yang lebih tinggi dibandingkan dengan metode lain karena prosesnya lebih mudah dikendalikan dan tingkat selektivitas yang lebih baik karena menggunakan katalis yang dapat mengarahkan reaksi kimia secara selektif untuk menghasilkan metanol serta lebih ramah lingkungan (Al Hashar, 2022).

Konversi karbon dioksida menjadi metanol dengan metode reduksi elektrokimia dapat dilakukan dengan menggunakan *Membran Electrode Assembly* (MEA) yang terdiri dari membran penukar proton dan elektroda. Elektroda terdiri dari lapisan katalis dan *gas diffusion layer* (*microporous layer* dan *backing layer*). Katalis biasa digunakan untuk mempercepat reaksi dengan cara menurunkan energi aktivasinya. Lapisan katalis dalam penelitian ini berfungsi sebagai tempat terjadinya reaksi. Lapisan katalis pada katoda merupakan tempat terjadinya reaksi reduksi karbon dioksida sedangkan pada anoda tempat terjadi reaksi oksidasi air menjadi proton dan oksigen (Chen *et al.*, 2020). Katalis yang digunakan pada sisi anoda berupa katalis $\text{Cu}_2\text{O}/\text{C}$ sedangkan pada sisi katoda digunakan katalis $\text{Cu}_2\text{O}-\text{ZnO}/\text{C}$ (Arifin, 2016). Katalis $\text{Cu}_2\text{O}/\text{C}$ dan $\text{Cu}_2\text{O}-\text{ZnO}/\text{C}$ merupakan katalis heterogen dengan situs aktif berupa Cu. Katalis heterogen lebih efektif dibandingkan dengan katalis homogen karena dapat memisahkan cairan dari katalis padat dengan mudah (Permana *et al.*, 2021).

Selain katalis, dalam proses konversi karbon dioksida menjadi metanol juga melibatkan variasi tegangan listrik dan waktu. Tegangan listrik dapat mempengaruhi hasil konversi dimana penggunaan tegangan yang tepat akan menghasilkan produk yang diharapkan. Reaksi reduksi yang terjadi di katoda akan menghasilkan produk yang berbeda jika tegangan listrik yang dialirkan berbeda (Ramadan & Riyanto, 2017). Selain itu, waktu reaksi juga dapat mempengaruhi hasil konversi dimana semakin lama waktu reaksi yang digunakan maka semakin meningkatnya produksi hasil konversi (Tamboli *et al.*, 2016). Penelitian ini dilakukan untuk mengkarakterisasi elektroda dengan metode *Cyclic Voltammetry* (CV) dan *Electrochemical Impedance Spectroscopy* (EIS) serta menentukan tegangan listrik dan waktu reaksi optimum dalam proses konversi karbon dioksida menjadi metanol dengan katalis $\text{Cu}_2\text{O}/\text{C}$ dan $\text{Cu}_2\text{O}-\text{ZnO}/\text{C}$.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang, dapat ditarik rumusan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana sifat elektrokimia pada elektroda $\text{Cu}_2\text{O}/\text{C}$ dan $\text{Cu}_2\text{O}-\text{ZnO}/\text{C}$?
2. Bagaimana pengaruh variasi tegangan listrik dan waktu reaksi terhadap hasil konversi karbon dioksida menjadi metanol?

1.3 Tujuan Penelitian

1. Mengetahui sifat elektrokimia berupa nilai *Electrochemical Surface Area* (ECSA) dan konduktivitas elektrik pada elektroda $\text{Cu}_2\text{O}/\text{C}$ dan $\text{Cu}_2\text{O}-\text{ZnO}/\text{C}$.
2. Mengetahui tegangan listrik dan waktu reaksi optimum dalam konversi karbon dioksida menjadi metanol.

1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi terkait sifat elektrokimia dari elektroda $\text{Cu}_2\text{O}/\text{C}$ dan $\text{Cu}_2\text{O}-\text{ZnO}/\text{C}$ serta tegangan listrik dan waktu reaksi optimum yang digunakan dalam konversi karbon dioksida menjadi metanol.

DAFTAR PUSTAKA

- Al-Kalbani, H., Xuan, J., García, S., & Wang, H. (2016). Comparative Energetic Assessment of Methanol Production from CO₂: Chemical Versus Electrochemical Process. *Applied Energy*, 165, 1–13. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.12.027>.
- Al Hashar, D. (2022). Renewable Methanol Production Using Captured Carbon Dioxide and Hydrogen Generated through Water-Splitting. *Engineering*, 14(08), 339–359. <https://doi.org/10.4236/eng.2022.148027>.
- Almehmadi, S. J., Alharbi, A., Abualnaja, M. M., Alkhamis, K., Alhasani, M., Abdel-Hafez, S. H., Zaky, R., & El-Metwaly, N. M. (2022). Solvent free synthesis, characterization, DFT, cyclic voltammetry and biological assay of Cu(II), Hg(II) and UO₂(II) – Schiff base complexes. *Arabian Journal of Chemistry*, 15(2), 103586. <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2021.103586>.
- Antxustegi, M. M., Pierna, A. R., & Ruiz, N. (2014). Chemical Activation of Vulcan® XC72R to be used as Support for NiNbPtRu Catalysts in PEM Fuel Cells. *International Journal of Hydrogen Energy*, 39(8), 3978–3983. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2013.04.061>.
- Arifin, R. (2016). *Bab II Tinjauan Pustaka Tugas Akhir Mahasiswa. 1969*, 9–26.
- Chen, M., Zhao, C., Sun, F., Fan, J., Li, H., & Wang, H. (2020). Research Progress of Catalyst Layer and Interlayer Interface Structures in Membrane Electrode Assembly (MEA) for Proton Exchange Membrane Fuel Cell (PEMFC) System. *ETransportation*, 5, 100075. <https://doi.org/10.1016/j.etrans.2020.100075>.
- Chen, T., Liu, S., Zhang, J., & Tang, M. (2019). Study on the Characteristics of GDL with Different PTFE Content and Its Effect on The Performance of PEMFC. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 128, 1168–1174. <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2018.09.097>.
- Choudhary, O. P., & Priyanka. (2017). Scanning Electron Microscope: Advantages and Disadvantages in Imaging Components. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 6(5), 1877–1882. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2017.605.207>.
- Dewi, N. A., Nurosyid, F., Supriyanto, A., & Suryana, R. (2016). Effect of thickness Type on Transparent TiO₂ as the Working Electrode of Dye sensitized Solar Cell (DSSC) for Solar Windows Applications. *Indonesian Journal of Applied Physics*, 6(02), 73. <https://doi.org/10.13057/ijap.v6i02.1362>.
- Dwivedi, A., Gudi, R., & Biswas, P. (2017). An Improved Tri-Reforming Based Methanol Production Process for Enhanced CO₂ Valorization. *International*

- Journal of Hydrogen Energy*, 42(36), 23227–23241.
<https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2017.07.166>.
- Giardi, M. T., Rea, G., & Berra, B. (2010). *Bio-Farms for Nutraceuticals*. Italy : Springer US.
- Gulluce, H. (2019). Production and Use of Carbon Dioxide In Turkey. *International Journal of Innovative Research and Reviews*, 3(2), 10–15.
- Guo, H., Chen, L., Ismail, S. A., Jiang, L., Guo, S., Gu, J., Zhang, X., Li, Y., Zhu, Y., Zhang, Z., & Han, D. (2022). Gas Diffusion Layer for Proton Exchange Membrane Fuel Cells: A Review. *Materials*, 15(24).
<https://doi.org/10.3390/ma15248800>.
- Haghighatjoo, F., Rahimpour, M. R., & Farsi, M. (2023). Techno-Economic and Environmental Assessment of CO₂ Conversion to Methanol: Direct Versus Indirect Conversion Routes. *Chemical Engineering and Processing - Process Intensification*, 184(December 2022), 109264.
<https://doi.org/10.1016/j.cep.2023.109264>.
- Harista, D. (2019). *Analisis Beba Emisi Gas Rumah Kaca Karbon Dioksida (CO₂) di Bandar Udara Internasional Halim Perdanakusuma untuk Aktivitas Komersial Tahun 2014-2018*. 4–8.
- Hazarika, J., & Manna, M. S. (2019). Electrochemical Reduction of CO₂ to Methanol with Synthesized Cu₂O Nanocatalyst: Study of the selectivity. *Electrochimica Acta*, 328, 135053.
<https://doi.org/10.1016/j.electacta.2019.135053>.
- Herlambang, Y. D., & Roihatin, A. (2019). Teknologi Pembangkit Listrik Energi Baru Terbarukan Menggunakan Proton Exchange Membrane (PEM) Fuel Cell Skala Kecil. *Eksergi*, 15(1), 27.
<https://doi.org/10.32497/eksergi.v15i1.1464>.
- Hidayati, S. N. (2023). Pengaruh Persentase Polytetrafluoroethylene (PTFE) pada Lapisan Katalis Elektroda Terhadap Produksi Metanol Hasil Konversi CO₂ Secara Reduksi Elektrokimia. In *Journal of Engineering Research* (Skripsi). Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam. Universitas Sriwijaya: Palembang.
- Huda, A. N., Lestari, I., dan Hidayat, S. (2022). Pemanfaatan Karbon Aktif dari Sekam Padi Sebagai Elektroda Supercapacitor. *Jurnal Ilmu Dan Inovasi Fisika*, 6(2), 102–113. <https://doi.org/10.24198/jiif.v6i2.39639>.
- Izzuddin, M. I. (2022). Pengaruh Tegangan dan Laju Alir CO₂ Terhadap Konversi CO₂ menjadi Metanol menggunakan Membrane Electrode Assembly (MEA) pada Elektroliser Singlestack. In *Journal of Engineering Research* (Skripsi). Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam. Universitas Sriwijaya:

Palembang.

- Kahveci, E. E., & Taymaz, I. (2014). An investigation of GDL Porosity on PEM fuel Cell Performance. *Chemical Engineering Transactions*, 42, 37–42. <https://doi.org/10.3303/CET1442007>.
- Khan, I., Lee, J. H., Park, J., & Wooh, S. (2022). Nano/Micro-Structural Engineering of Nafion Membranes for Advanced Electrochemical Applications. *Journal of Saudi Chemical Society*, 26(4), 101511. <https://doi.org/10.1016/j.jscs.2022.101511>.
- Liu, Z. J., Tang, X. J., Xu, S., & Wang, X. L. (2014). Synthesis and Catalytic Performance of Graphene Modified CuO-ZnO-Al₂O₃ for CO₂ Hydrogenation to Methanol. *Journal of Nanomaterials*, 2014. <https://doi.org/10.1155/2014/690514>.
- Mahreni. (2010). Aplikasi Membran Nanokomposit sebagai Elektrolit Sel Bahan Bakar Hidrogen pada Proton Exchange Membrane Fuel Cell. *Jurnal Sains Materi Indonesia*, 12(1), 52–58.
- Majlan, E. H., Rohendi, D., Daud, W. R. W., Husaini, T., & Haque, M. A. (2018). Electrode for Proton Exchange Membrane Fuel Cells: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 89(December 2017), 117–134. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.03.007>.
- Masta, N. (2020). Buku Materi Pembelajaran Scanning Electron Microscopy. *Patra Widya: Seri Penerbitan Penelitian Sejarah dan Budaya.*, 21(3), i–iii.
- Matuła, I., Zubko, M., & Dercz, G. (2020). Role of Sn as a Process ontrl Agent on Mechanical Alloying Behavior of Nanocrystalline Titanium Based Powders. *Materials*, 13(9). <https://doi.org/10.3390/ma13092110>.
- Miko, T., Kristaly, F., Bohacs, K., Sveda, M., Sycheva, A., & Janovszky, D. (2018). The effect of Process Control Agents and Milling Atmosphere on The Structural Changes of Ti₅₀Cu_{27,5}Ni₁₀Zr₁₀Co_{2,5} Master Alloy During Short Time Milling. IOP Conference Series: *Materials Science and Engineering*, 426(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/426/1/012035>.
- Mu'min, M. S., Komma, M., Abbas, D., Wagner, M., Krieger, A., Thiele, S., Böhm, T., & Kerres, J. (2023). Electrospun Phosphonated Poly(Pentafluorostyrene) Nanofibers as a Reinforcement of Nafion Membranes for Fuel Cell Application. *Journal of Membrane Science*, 685(April). <https://doi.org/10.1016/j.memsci.2023.121915>.
- Omrani, R., & Shabani, B. (2019). Can PTFE Coating of Gas Diffusion Layer Improve The Performance of URFCs in Fuel Cell-Mode? *Energy Procedia*, 160(2018), 574–581. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2019.02.208>.

- Onggo, H., Syampurwadi, A., & Yudianti, R. (2013). Pembuatan Gas Diffusion Electrode Dengan Teknik Screen Printing : Pengaruh Microporous Layer Terhadap Strukturmikro dan Kinerja Elektrokatalis. *Jurnal Sains Materi Indonesia*, 14(4), 253–258.
- Ott, J., Gronemann, V., Pontzen, F., Fiedler, E., Grossman, G., Burkhard Kersebohm, K., Weiss, G., & Witte, C. (2012). Methanol - An Industrial Review by Lurgi GmbH, Air Liquide GmbH and BASF AG. *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry*.
- 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, 866–880. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.06.068>.
- Park, S., Wijaya, D. T., Na, J., & Lee, C. W. (2021). Towards the large-Scale Electrochemical Reduction of Carbon Dioxide. *Catalysts*, 11(2), 1–30. <https://doi.org/10.3390/catal11020253>.
- Permana, E., Desriyanti, R., Marlinda, L., Murti, S. S. (2021). Sintesis Metanol dari Hidrogenasi Karbon Monoksida dengan Katalis Cu/ZnO/Al₂O₃. *Jurnal Teknologi Universitas Muhammadiyah Jakarta*, 13(2). <https://dx.doi.org/10.24853/jurtek.13.2.217-226>.
- Prihantini, M., Zulfa, E., Prastiwi, L. D., & Yulianti, I. D. (2019). Pengaruh Waktu Ultrasonikasi Terhadap Karakteristik Fisika Nanopartikel Kitosan Ekstrak Etanol Daun Suji (Pleomele Angustifolia) dan Uji Stabilitas Fisika Menggunakan Metode Cycling Test. *Jurnal Ilmu Farmasi dan Farmasi Klinik*, 16(02), 125. <https://doi.org/10.31942/jiffk.v16i02.3237>.
- Putri, P. E., & Setiarso, P. (2020). Synthesis and Characterization of Graphene Oxide-Nanozeolite as a Work Electrode by Cyclic Voltametry. *UNESA Journal of Chemistry*, 9(1), 64–70. <https://jurnalmahasiswa.unesa.ac.id/index.php/unesa-journal-of-chemistry/article/view/32776/29544>.
- Rahmah, R. D., Rohendi, D., Syarif, N., Rachmat, A., Sya'baniah, N. F., & Hawa 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. <https://doi.org/10.24845/ijfac.v6.i1.08>.
- 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. <https://doi.org/10.20885/eksakta.vol17.iss2.art1>.
- Risnah, I. A., Saokani, J., Sumarlin, L., Tjachja, A., Octavia, R., Ernita, N., Jagung, S. T., Alam, M. N., Illing, I., Sikanna, R., Sarapun, I. V.,

- Puspitasari, D. J., Novianty, I., Ilyas, A., Saleh, A., Nur, H., Cells, M. F., Utami, L., Yenti, E., Muthohar, S. (2018). Jurusan Kimia UIN Alauddin Makassar. *Al Kimia*, 6(1), 1–9.
- 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. <https://doi.org/10.24845/ijfac.v1.i3.61>.
- Rohendi, D., Syarif, N., Rachmat, A., Mersitarini, D., Ardiyanta, D., Erliana, R. R. W. H., Mahendra, I., Febrika, S. N., Yulianti, D. H., Amelia, I., & Al Reka Reo, M. (2022). Effect of Milling Time and PCA on Electrode Properties of Cu₂O-ZnO/C Catalyst Alloy used on Electrochemical Reduction Method of CO₂. *International Journal of Integrated Engineering*, 14(2), 186–192. <https://doi.org/10.30880/ijie.2022.14.02.022>.
- Saputry, A. P., Lestariningsih, T., & Astuti, Y. (2019). The Effect of Ratio LiBOB:TiO₂ of Electrolyte Polymer Sheets as separators on the Electrochemical Performance of LTO-Based Lithium-Ion Batteries. *Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi*, 22(4), 136–142. <https://doi.org/10.14710/jksa.22.4.136-142>.
- Sihite, E. B., & Budiarto. (2019). Analisis Pengaruh Penuaan Dan Media Pendingin Terhadap Kekerasan dan Strukturmikro PaduanCuHfCo. *Jurnal Kajian Ilmiah*, 19(3), 231–238.
- Sujatno, A., Salam, R., Bandriyana, B., & Dimiyati, A. (2015). Studi Scanning Electron Microscopy (SEM) untuk Karakterisasi Proses Oksidasi Paduan Zirkonium. *Jurnal Forum Nuklir*, 9(1), 44. <https://doi.org/10.17146/jfn.2015.9.1.3563>.
- Suprasetyo, A., dan Setiarso, P. (2016). Pembuatan Elektroda Pasta Karbon Termodifikasi Zeolit Untuk Analisis Fenol Secara Cyclic Stripping Voltammetry. *UNESA Journal of Chemistry*, 5(3), 87.
- Tamboli, A. H., Chaugule, A. A., & Kim, H. (2016). Highly Selective and Multifunctional Chitosan/Ionic Liquids Catalyst for Conversion of CO₂ and Methanol to Dimethyl Carbonates at Mild Reaction Conditions. *Fuel*, 166, 495–501. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2015.11.023>.
- Toma, K., Iwasaki, K., Zhang, G., Iitani, K., Arakawa, T., Iwasaki, Y., & Mitsubayashi, K. (2021). Biochemical Methanol Gas Sensor (MeOH Biosniffer) for Non-Invasive Assessment of Intestinal Flora from Breath Methanol. *Sensors*, 21(14). <https://doi.org/10.3390/s21144897>.
- Vadillo, F. (2019). On the Walker' Model for the Arbon Dioxide in the Earth's Atmosphere. *Journal of Environmental Protection*, 10(01), 48–56.

<https://doi.org/10.4236/jep.2019.101004>.

- Wen, G., Wen, X., Shuang, S., & Choi, M. M. F. (2014). Whole-Cell Biosensor for Determination of Methanol. *Sensors and Actuators, B: Chemical*, 201, 586– 591. <https://doi.org/10.1016/j.snb.2014.04.107>.
- Wicaksana, A., & Rachman, T. (2018). Ball Milling. *Angewandte Chemie International Edition*, 6(11), 951–952. <https://medium.com/@arifwicaksanaa/pengertian-use-case-a7e576e1b6bf>.
- Wicaksono, M. A., Noerochim, L., & Purniawan, A. (2021). Analisis Pengaruh Variasi Rasio Berat Nafion/Karbon pada Lapisan Katalis Membrane Electrode Assembly terhadap Performa Elektrokimia PEM Fuel Cell (PEMFC). *Jurnal Teknik ITS*, 10(2). <https://doi.org/10.12962/j23373539.v10i2.63997>.
- Wiranarongkorn, K., Eamsiri, K., Chen, Y. S., & Arpornwichanop, A. (2023). A Comprehensive Review of Electrochemical Reduction of CO₂ to Methanol: Technical and design aspects. *Journal of CO₂ Utilization*, 71(April), 102477. <https://doi.org/10.1016/j.jcou.2023.102477>.
- Yazdani, N., Toroghinejad, M. R., Shabani, A., & Cavaliere, P. (2021). Effects of Process Control Agent Amount, Milling Time, and Annealing Heat Treatment on The Microstructure of Alrcrufeni High-Entropy Alloy Synthesized Through Mechanical Alloying. *Metals*, 11(9). <https://doi.org/10.3390/met11091493>.
- Yani, S. R., Djamas, D., dan Ramli. (2019). Analisis Sifat Listrik Nanokomposit NiFe₂O₄/PANi yang Disintesis dengan Metode Sol Gel. *Pillar of Physics*, 12(1), 9-14.