

**PENGARUH PERSENTASE *POLYTETRAFLUOROETHYLENE* (PTFE)
PADA LAPISAN KATALIS ELEKTRODA TERHADAP PRODUKSI
METANOL HASIL KONVERSI CO₂ SECARA REDUKSI
ELEKTROKIMIA**

SKRIPSI

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



**Oleh :
SITI NUR HIDAYATI
08031381924070**

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

2023

HALAMAN PENGESAHAN

**PENGARUH PERSENTASE *POLYTETRAFLUOROETHYLENE* (PTFE)
PADA LAPISAN KATALIS ELEKTRODA TERHADAP PRODUKSI
METANOL HASIL KONVERSI CO₂ SECARA REDUKSI
ELEKTROKIMIA**

SKRIPSI

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

Oleh:

**SITI NUR HIDAYATI
08031381924070**

Indralaya, 6 Februari 2023

**Mengetahui,
Pembimbing I**



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

Pembimbing II



Nova Yuliasari, M.Si.
NIP. 197307261999032001



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

HALAMAN PERSETUJUAN

Karya tulis ilmiah berupa skripsi Siti Nur Hidayati (08031381924070) dengan judul “Pengaruh Persentase *Polytetrafluoroethylene* (PTFE) Pada Lapisan Katalis Elektroda Terhadap Produksi Metanol Hasil Konversi CO₂ Secara Reduksi Elektrokimia” telah dipertahankan dihadapan Tim Penguji Sidang Sarjana Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Sriwijaya pada tanggal 2 Februari 2023 dan telah diperbaiki, diperiksa, serta disetujui sesuai masukan yang telah diberikan.

Indralaya, 6 Februari 2023

Ketua :

1. **Dr. Fatma, M.S.**

NIP. 196207131991022001

Sekretaris:

1. **Dr. Heni Yohandini, M.Si.**

NIP. 197011152000122004

Pembimbing:

2. **Dr. Dedi Rohendi, M.T.**

NIP. 196704191993031001

3. **Nova Yuliasari, M.Si.**

NIP. 197307261999032001







Penguji :

1. **Dr. Hasanudin, M.Si.**

NIP. 197205151997021003

2. **Dr. Eliza, M.Si.**

NIP. 196407291991022001

()
()
()
()
()
()

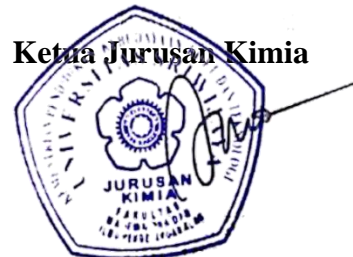
Mengetahui,



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 : Siti Nur Hidayati

NIM : 08031381924070

Fakultas/Jurusan : MIPA/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, 6 Februari 2023

Yang menyatakan,



Siti Nur Hidayati

NIM. 08031381924070

**HALAMAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH UNTUK
KEPENTINGAN AKADEMIS**

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

Nama Mahasiswa : Siti Nur Hidayati

NIM : 08031381924070

Fakultas/Jurusan : MIPA/Kimia


Jenis karya : Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, saya menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Sriwijaya “Pengaruh Persentase *Polytetrafluoroethylene* (PTFE) Pada Lapisan Katalis Elektroda Terhadap Produksi Metanol Hasil Konversi CO₂ Secara Reduksi Elektrokimia” dengan hak bebas royalti non-eksklusif 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, 6 Februari 2023

Yang menyatakan,



Siti Nur Hidayati

NIM. 08031381924070

HALAMAN PERSEMBAHAN

“Tidak ada sesuatu yang mustahil untuk dicapai. Tidak ada sesuatu yang mustahil untuk diselesaikan. Karena *“Sesungguhnya Allah bebas melaksanakan kehendak-Nya, Dia telah menjadikan untuk setiap sesuatu menurut takarannya.”*

-QS. At-Thalaq: 3-

"When you want to give up, look at back and then see how far you have climbed to reach your goals."

Skripsi ini sebagai tanda syukur saya kepada:

- Allah SWT
- Nabi Muhammad SAW

Skripsi ini saya persembahkan kepada:

1. Normala Jafrin, S.T., S.Pd dan Dra. Suwarni selaku ayah dan ibuku yang paling yati sayangi, telah mendoakan dan memberi support dalam bentuk apapun dikala senang maupun sedih serta telah menguatkan yati untuk selalu teguh dalam pendiriannya.
2. Muhammad Ripki Setiawan, M.Pd., Fajar Kurnia Ningsih, S.Kep., NS., Muhammad Rofik Supratman, S.Sos., Mia Oktaviani, S.Kep., NS., Muhammad Robi Sutrisno, S.Pd., Minggia Desita Aklima, S.Pd. selaku kakak kandung dan ayuk ipar yang sudah memberi semangat kepada adik bungsunya yang cantik.
3. Keysa, Hafiza, dan Qiana selaku keponakan amma yang manis telah menyadarkan dan memotivasi amma agar bisa menjadi amma yang dapat dijadikan inspirasi untuk keponakannya kelak.
4. Wisnu Prasetya Justitia, S.T. selaku orang terkasih yang selalu mau dan bersedia menjadi orang yang mendengarkan serta berbagi cerita kehidupan satu sama lain dan berupaya membantu sampai akhir dalam penyelesaian skripsi ini.
5. Kedua dosen pembimbingku yang luar biasa baiknya yaitu bapak Dr. Dedi Rohendi, M.T., dan ibu Nova Yuliasari, M.Si.
6. Teman-teman seperjuangan dan Almamaterku yang aku banggakan Universitas Sriwijaya.

KATA PENGANTAR

Dengan menyebut nama Allah SWT yang maha pengasih lagi maha penyayang. Saya panjatkan puji dan syukur atas kehadiran-Nya yang telah melimpahkan rahmat, hidayah dan inayah-Nya penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Pengaruh Persentase *Polytetrafluoroethylene* (PTFE) Pada Lapisan Katalis Elektroda Terhadap Produksi Metanol Hasil Konversi CO₂ Secara Reduksi Elektrokimia”. Skripsi ini dibuat sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan Program Sarjana (S1) Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Sriwijaya.

Proses penyusunan skripsi ini tidak terlepas dari berbagai rintangan yang dilalui, mulai dari pencarian judul, literatur, penelitian, pengumpulan data, pengolahan data dan penulisan. Namun dengan kesabaran dan ketekunan yang dilandasi dengan rasa tanggung jawab sebagai mahasiswa serta bantuan dari berbagai pihak lain baik berupa moril maupun materil akhirnya skripsi ini dapat terselesaikan. Penulis mengucapkan banyak terimakasih kepada bapak **Dr. Dedi Rohendi, M.T.**, dan ibu **Nova Yuliasari, M.Si.** yang telah banyak membantu, memberikan bimbingan, bantuan, saran, nasehat dan motivasi kepada penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.

Penulis juga menyampaikan terima kasih kepada:

1. Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan nikmat-Nya yang sangat luar biasa kepada penulis.
2. Bapak Hermasyah, S.Si., M.Si., Ph.D. selaku Dekan FMIPA Universitas Sriwijaya.
3. Ibu Prof. Dr. Muharni, M.Si. selaku Ketua Jurusan Kimia FMIPA Universitas Sriwijaya.
4. Bapak Dr. Addy Rachmat, M.Si. selaku Sekretaris Jurusan Kimia FMIPA Universitas Sriwijaya.

5. Bapak Dr. Hasanudin, M.Si. dan Ibu Dr. Eliza, M.Si. selaku pembahas dan penguji sidang sarjana.
6. Seluruh Dosen FMIPA Universitas Sriwijaya yang telah memberikan ilmu, mendidik dan membimbing selama masa perkuliahan hingga lulus.
7. Kak Chosiin dan Mba Novi selaku Admin Jurusan Kimia yang selalu sabar serta banyak membantu selama masa perkuliahan hingga lulus.
8. Kakak-kakak mentor yang ada di PUR fuel cell dan hidrogen yang yati kagumi hebatnya. Kak Dwi, kak Icha, kak Reka, dan yang terakhir bang Ilyas. Terimakasih selalu sabar dan mau mengajari yati selama proses penelitian dari awal magang sampe penelitian selesai. Maaf jika sering lalai dan berbuat kesalahan.
9. Cikdudu Empire, teman-teman gila ku pada zamannya. Afif, Ami, Bella, Cindy, Sari, dan Vania. Terimakasih karena tanpa kalian masa awal perkuliahanku tak akan bisa terkenang seru, gila, dan berwarna. Terimakasih juga sudah selalu bersedia backup aku dalam perkuliahan online disaat aku gila akan organisasi luar. Maaf atas segala sesuatu hal yang pernah terlewati. Semoga kita semua sukses, semangat penelitian dulur.
10. Layo dek layo, teman seperjuangan hidup di planet panas dan berdebu ini. Amalia, Amso, Anas, Aulia, Ertha, Jono, Kartika, Meyshin, Rizna, dan Venanda. Terimakasih sudah menemani dan membersamai aku selama di layo. Selalu mau mendengarkan dan berbagi cerita satu sama lain. Ternyata hidup di perkuliahan ini sangat keras kawan. Terimakasih sudah mau saling menguatkan dan merangkul satu sama lain. Tanpa kalian, hidupku di layo sangatlah sepi dan hampa. See you on top pren! Kalo udah balik ke daerah masing-masing bisalah healing tipis-tipis bareng di Palembang atau dimana aja ayok gassss !!!.
11. Teman-teman PUR fuel cell dan hidrogen (YOGYAA). Yollan, Gumay, Anash, Misbach, dan Joy. Terutama untuk Yollan dan Anash yang benar-benar membersamai dari awal penelitian di PUR tercinta hingga mendaftar wisuda. Up and Down semasa menjemput gelar sarjana ini sudah terlewati. Haha hihi bareng dan menjadi pecinta geprek di kala tidak tau mau makan siang apa. Selalu mau saling menguatkan satu sama lain dan memberi hiburan yang begitu

berisik di PUR. Sampai berjumpa di lain kesempatan yang lebih hebat lagi. Untuk Gumay, Misbach, dan Joy semangat dulur, yok bisa sampai S.Si.

12. Anak-anak grup WA (Welcome To Semester Sekian2 wkwk) Lidia, Olga, Via, dan Elik. Terkhusus Lidia yang bener-bener ngegendong anak grup ini hiks! Dan Juga Via direpotkan dalam situasi krisis menuju yudisium yang sengit. Thank's a lot gais, tanpa kalian gatau gimana kehidupan per-online-an duniawi ini huhuhu.
13. Jerambah Bunge Mas (Gintol, Ikebal, Idot, Sitong) yang pernah mengisi hari hari gabut ciboba ini jika di Lahat maupun di Palembang. Gass beskem lagi cuyy!!!
14. Dwi Dhia Apriliani, A.Md.Kep., S.E. yang sudah mau mendengar bentuk cerita abstraknya seorang yati dan berusaha menyemangati. Sama-sama keluar dari zona kritis hiks dan tetap setia mau berteman dan saling kasih kabar. Alhamdulillah kita sampe di titik sekarang yak!
15. Teman-teman seperjuangan Kimia 2019 terimakasih untuk kebersamaan, keceriaan dan kegilaan kalian selama perkuliahan ini. Semangat dan sukses untuk kita semua. #PacakDakPacakKitoMacakMacak!
16. Kakak tingkat angkatan 2016 - 2018 terkhusus kakak asuh aku yang paling asyik dan seru abang Shahibul fajri dan kak Jeniva Rindi Anindia. Terimakasih telah memberikan saran, pesan serta pengalamannya semasa di jurusan Kimia.
17. Adik tingkat angkatan 2020 – 2022 terkhusus adik asuh aku yang paling manis se-Kimia. Tiada lain tiada bukan Elis dan Vira. Terimakasih selalu memberi semangat untuk kakak dan menghibur kakak. Rajin-rajin kuliahnya, semangat terus sampai bisa jadi S.Si ya.
18. Seluruh pihak yang terlibat dalam penelitian maupun penulisan yang tidak dapat disebutkan satu persatu, terimakasih dukungan dan semangatnya.

SUMMARY

THE EFFECT OF POLYTETRAFLUOROETHYLENE (PTFE) PERCENTAGE IN THE CATALYST LAYER ELECTRODE ON METHANOL PRODUCTION FROM CO₂ CONVERSION BY ELECTROCHEMICAL REDUCTION

Siti Nur Hidayati, supervised by Dr. Dedi Rohendi, M.T and Nova Yuliasari, M.Si
Chemistry, Faculty of Mathematics and Natural Sciences, Sriwijaya University
xvii + 78 pages, 11 tables, 17 figures, 10 attachments

Testing the effect of Polytetrafluoroethylene (PTFE) on the electrode catalyst layer on methanol production as a result of CO₂ conversion by electrochemical reduction has been carried out. This study used PTFE as a hydrophobic substance with varying contents (10wt%, 15wt%, 20wt%, and 25wt%) in electrodes with Cu₂O-ZnO/C (cathode) and Pt/C (anode) catalysts. The electrodes were 7.5 x 7.5 cm in size and flanked the nafion electrolyte membrane to form MEA as a medium for converting CO₂ to methanol. The CO₂ conversion process is carried out at a CO₂ flow rate of 160 mL/minute, and the source of electrical energy is obtained from a power supply at a voltage of 1.8 V.

The results of electrode characterization using the SEM-EDX method revealed that the cathode had a higher Cu content with a 15wt% PTFE content of 9% and the anode had a higher Pt content with a 20wt% PTFE content of 27.2%. The highest cathode ECSA value from CV measurements was 16,924.89 cm²/g at the cathode with 15wt% PTFE content, and the highest ECSA value at the anode was 103,732 cm²/g with 10wt% PTFE content. Meanwhile, the results of the electrochemical impedance spectroscopy (EIS) analysis showed that the highest electrical conductivity value of 15.48371 S/cm was found at the cathode with 15wt% PTFE content and 31.55684 S/cm at the anode with 10wt% PTFE content. The lowest current obtained in the CO₂ to methanol conversion process was found in MEA with 15wt% PTFE Cu₂O-ZnO/C (cathode) and 10wt% PTFE Pt/C (anode), with the highest percentage of methanol produced at 16.2% b/v (without distillation process).

Keywords: CO₂ Conversion, Cu₂O-ZnO/C, Pt/C, MEA, PTFE, and Methanol

Citations: 82 (2011-2022)

RINGKASAN

PENGARUH PERSENTASE *POLYTETRAFLUOROETHYLENE* (PTFE) PADA LAPISAN KATALIS ELEKTRODA TERHADAP PRODUKSI METANOL HASIL KONVERSI CO₂ SECARA REDUKSI ELEKTROKIMIA

Siti Nur Hidayati, dibimbing oleh Dr. Dedi Rohendi, M.T dan Nova Yuliasari, M.Si Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Sriwijaya xvii + 78 halaman, 11 tabel, 17 gambar, 10 lampiran

Pengujian pengaruh *Polytetrafluoroethylene* (PTFE) pada lapisan katalis elektroda terhadap produksi metanol hasil konversi CO₂ secara reduksi elektrokimia telah dilakukan. Penelitian ini menggunakan PTFE sebagai zat hidrofobik dengan kandungan yang bervariasi (10%, 15%, 20%, dan 25% b/b) pada elektroda dengan katalis Cu₂O-ZnO/C (katoda) dan Pt/C (anoda). Elektroda dibuat dengan ukuran 7,5 x 7,5 cm yang mengapit membran elektrolit nafion menjadi MEA sebagai media konversi CO₂ menjadi metanol. Proses konversi CO₂ dilakukan dengan laju alir CO₂ 160 mL/menit dan sumber energi listrik diperoleh dari *power supply* pada tegangan 1,8 V.

Hasil karakterisasi elektroda dengan metode SEM-EDX menunjukkan bahwa kadar Cu yang lebih tinggi terdapat pada katoda dengan kandungan PTFE 15% b/b sebesar 9% dan kadar Pt yang lebih tinggi terdapat pada anoda dengan kandungan PTFE 20% b/b sebesar 27,2%. Nilai ECSA katoda tertinggi dari pengukuran CV adalah sebesar 16.924,89 cm²/g pada katoda dengan kandungan PTFE 15% dan nilai ECSA tertinggi pada anoda adalah sebesar 103.732 cm²/g pada kandungan PTFE 10% b/b. Sementara itu, hasil analisis metode *Electrochemical Impedance Spectroscopy* (EIS) menunjukkan bahwa nilai konduktivitas elektrik paling tinggi sebesar 15,48371 S/cm terdapat pada katoda dengan kandungan PTFE 15% dan 31,55684 S/cm pada anoda dengan kandungan PTFE 10%. Arus terendah yang didapatkan pada proses konversi CO₂ menjadi metanol terdapat pada MEA dengan elektroda Cu₂O-ZnO/C (katoda) PTFE 15% dan elektroda Pt/C (anoda) PTFE 10% dengan persentase metanol yang dihasilkan paling tinggi sebesar 16,2% b/v (tanpa proses distilasi).

Kata Kunci: Konversi CO₂, Cu₂O-ZnO/C, Pt/C, MEA, PTFE, Metanol

Kutipan: 82 (2011-2022)

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN.....	ii
HALAMAN PERSETUJUAN.....	iii
PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH.....	iv
HALAMAN PERSETUJUAN PUBLIKASI.....	v
HALAMAN PERSEMBAHAN.....	vi
KATA PENGANTAR.....	vii
SUMMARY	x
RINGKASAN	xi
DAFTAR ISI.....	xii
DAFTAR GAMBAR.....	xv
DAFTAR TABEL.....	xvi
DAFTAR LAMPIRAN	xvii
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.....	4
2.2 Konversi Karbon Dioksida.....	4
2.3 Metanol.....	5
2.4 <i>Milling</i>	6
2.5 <i>Process Control Agent (PCA)</i>	7
2.6 <i>Polytetrafluoroethylene (PTFE)</i>	8
2.7 <i>Membrane Electrode Assembly (MEA)</i>	9
2.8 Elektroda.....	10
2.9 <i>Gas Diffusion Layer (GDL)</i>	10
2.10 Tembaga	12

2.11 Platina.....	12
2.12 Nafion	13
2.13 <i>Scanning Electron Microscopy</i> (SEM).....	14
2.14 <i>Cyclic Voltammetry</i> (CV).....	15
2.15 <i>Electrochemical Impedance Spectroscopy</i> (EIS)	17
2.16 <i>Methanol Analyzer</i>	18
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	19
3.1 Waktu dan Tempat.....	19
3.2 Alat dan Bahan.....	19
3.2.1 Alat	19
3.2.2 Bahan	19
3.3 Prosedur Penelitian	20
3.3.1 Preparasi Katalis Cu ₂ O-ZnO/C.....	20
3.3.2 Pembuatan Gas Diffusion Layer (GDL).....	20
3.3.3 Preparasi Elektroda.....	20
3.3.4.1 Elektroda Cu ₂ O-ZnO/C (Katoda).....	20
3.3.4.2 Elektroda Pt/C (Anoda).....	20
3.3.4 Karakterisasi Elektroda.....	21
3.3.4.1 <i>Cyclic Voltammetry</i> (CV).....	21
3.3.4.2 <i>Electrochemical Impedance Spectroscopy</i> (EIS)..	21
3.3.4.3 <i>Scanning Electron Microscopy</i> (SEM)	22
3.3.5 Pembuatan <i>Membrane Electrode Assembly</i> (MEA).....	22
3.3.6 Konversi CO ₂ Menjadi CH ₃ OH secara Elektrokimia.....	23
3.3.7 Analisis Data	23
3.3.7.1 Analisis <i>Cyclic Voltammetry</i> (CV)	23
3.3.7.2 Analisis <i>Electrochemical Impedance Spectroscopy</i>	24
3.3.7.3 Analisis <i>Methanol Analyzer</i>	25
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	26
4.1 Pembuatan <i>Gas Diffusion Layer</i> (GDL)	26
4.2 Pembuatan Elektroda	27
4.3 Pembuatan <i>Membrane Electrode Assembly</i> (MEA)	28

4.4 Karakterisasi Elektroda	29
4.4.1 Hasil Analisis <i>Scanning Electron Microscopy</i> (SEM).....	29
4.4.2 Hasil Analisis <i>Cyclic Voltammetry</i> (CV)	32
4.4.3 Hasil Analisis <i>Electrochemical Impedance Spectroscopy</i> (EIS)	33
4.5 Pengukuran Arus.....	35
4.6 Hasil Konversi Karbon Dioksida (CO ₂) Menjadi Metanol.....	36
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	39
5.1 Kesimpulan.....	39
5.2 Saran	39
DAFTAR PUSTAKA	40
LAMPIRAN.....	49

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 1. Skematik dari gerakan dan komponen a) Mesin frais vertikal (b) Mesin frais horizontal.....	7
Gambar 2. Struktur molekul PTFE.....	8
Gambar 3. Konfigurasi dasar MEA.....	9
Gambar 4. Lapisan Elektroda.....	10
Gambar 5. Lapisan <i>Gas Diffusion Layer</i>	11
Gambar 6. Struktur kimia nafion.....	14
Gambar 7. Skema <i>Scanning Electron Microscope</i> (SEM).....	15
Gambar 8. <i>Voltammogram Cyclic</i>	16
Gambar 9. <i>Electrochemical Impedance Spectroscopy</i> (EIS).....	17
Gambar 10. Proses pembuatan MEA dengan <i>spraying</i>	23
Gambar 11. <i>Membran Electrode Assembly</i> (MEA).....	29
Gambar 12. (a) Elektroda Cu ₂ O-ZnO/C (b) Elektroda Pt/C.....	30
Gambar 13. SEM-EDX (a) Elektroda Cu ₂ O-ZnO/C (b) Elektroda Pt/C.....	30
Gambar 14. Kurva Voltammogram (a) Elektroda Cu ₂ O-ZnO/C (b) Elektroda Pt/C.....	31
Gambar 15. Kurva Nyquist (a) Elektroda Cu ₂ O-ZnO/C (b) Elektroda Pt/C.....	33
Gambar 16. Pengukuran Arus Selama Proses Konversi (a) MEA dengan variasi elektroda Cu ₂ O-ZnO/C (b) MEA dengan variasi elektroda Pt/C.....	35
Gambar 17. Grafik Persentaase Metanol (a) Variasi elektroda Cu ₂ O-ZnO/C (b) Variasi elektroda Pt/C.....	37

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 1. Reaksi elektrokimia dalam proses konversi CO ₂	5
Tabel 2. Karakteristik tembaga (Cu)	12
Tabel 3. Nilai ECSA elektroda Cu ₂ ZnO/C dengan variasi PTFE.....	24
Tabel 4. Nilai ECSA elektroda Pt/C dengan variasi PTFE	24
Tabel 5. Nilai Konduktivitas Elektroda Cu ₂ ZnO/C dengan variasi PTFE	25
Tabel 6. Nilai Konduktivitas Elektroda Pt/C dengan variasi PTFE	25
Tabel 7. Analisis data pengukuran konversi CO ₂ menjadi metanol.....	25
Tabel 8. Nilai ECSA Pada Elektroda Cu ₂ O-ZnO/C Variasi Persentase PTFE	33
Tabel 9. Nilai ECSA Pada Elektroda Cu ₂ O-ZnO/C Variasi Persentase PTFE	33
Tabel 10. Nilai Konduktivitas Pada Elektroda Cu ₂ O-ZnO/C	35
Tabel 11. Nilai Konduktivitas Pada Elektroda Pt/C.....	35

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran 1. Skema Kerja Pembuatan Serbuk Katalis $\text{Cu}_2\text{O-ZnO/C}$	50
Lampiran 2. Skema Pembuatan GDL	50
Lampiran 3. Skema Pembuatan Elektroda.....	50
Lampiran 4. Skema Kerja Pengaktifan Membran dan Pembuatan MEA.....	51
Lampiran 5. Perhitungan Pembuatan GDL	52
Lampiran 6. Perhitungan Pembuatan Elektroda	53
Lampiran 7. Perhitungan Pengaktifan Membran.....	54
Lampiran 8. Tabel dan Kurva Hasil Pengukuran CV.....	55
Lampiran 9. Tabel dan Kurva Hasil Pengukuran EIS	69
Lampiran 10. Gambar Alat dan Bahan Penelitian	85

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Meningkatnya konsumsi terhadap bahan bakar fosil menjadi alasan utama terjadinya peningkatan karbon dioksida di atmosfer bumi. Karbon dioksida terus menumpuk dengan konsentrasi naik lebih dari 40% sejak era praindustri dari 280 ppm menjadi 407 ppm (König *et al.*, 2019). Peningkatan karbon dioksida menyebabkan kenaikan suhu, permukaan laut, cuaca ekstrem sehingga mempengaruhi perubahan iklim. Upaya yang dibutuhkan dalam rangka meminimalisir fenomena ini yakni dibutuhkan solusi untuk mengurangi tingginya kadar emisi karbon dioksida di atmosfer (Xu *et al.*, 2022).

Salah satu teknologi yang dapat mengurangi kadar karbon dioksida di atmosfer ialah mengkonversi karbon dioksida menjadi senyawa yang bermanfaat. Beberapa metode yang dapat dipergunakan untuk mengkonversi karbon dioksida antara lain termokimia, radiokimia, biokimia, fotokimia, serta elektrokimia. Diantara metode yang telah disebutkan, metode reduksi elektrokimia termasuk ke dalam metode yang sering dipergunakan untuk mengkonversi karbon dioksida menjadi senyawa alkohol seperti metanol yang dapat dimanfaatkan sebagai pelarut dan bahan bakar ramah lingkungan dalam *fuel cell* (Ramadan dan Riyanto 2017).

Penerapan metode reduksi elektrokimia dapat mempergunakan *Membrane Electron Assembly* (MEA) sebagai media tempat terjadinya reaksi redoks. Selain dipergunakan dalam konversi CO₂, MEA juga biasanya dipergunakan pada alat konversi *Fuel Cell*. MEA terbagi atas komponen membran elektrolit diapit antara anoda serta katoda (Rohendi *et al.*, 2019). Katoda dan anoda yang bertindak sebagai elektroda harus memiliki sifat konduktif yang baik agar memudahkan elektron untuk mengalir dan memfasilitasi interaksi kedua elektroda dengan adanya transfer proton melalui membran nafion 117. Elektron yang berasal dari anoda dialirkan ke katoda melalui rangkaian eksternal (Gwaitolini *and* Fardin, 2018). Hal ini membuat sifat elektrokimia dari elektroda dapat mempengaruhi kinerja MEA (Shahgaldi *et al.*, 2019).

Umumnya elektroda terbagi atas *Gas Diffusion Layer* (GDL) serta *Catalyst Layer* (CL). *Catalyst layer* (CL) dibuat dari campuran serbuk katalis, PTFE dan larutan Nafion (Rohendi *et al.*, 2016). Penambahan PTFE pada CL dapat mempengaruhi kinerja elektroda. Kinerja elektroda dapat ditingkatkan dengan memvariasikan persentase PTFE yang ditambahkan dengan cara memperbesar hidrofobisitas. Fungsi hidrofobisitas pada elektroda ialah dapat menyebabkan aliran air meningkat melalui bagian pori-pori karbonnya guna melakukan pencegahan terhadap risiko banjir (Rohendi *et al.*, 2016).

Beberapa katalis yang banyak dipergunakan dalam konversi CO₂ diantaranya Co, Ti, Ni, Ag dan Cu. Diantara katalis tersebut, katalis Cu (tembaga) lebih unggul karena mempunyai efisiensi faraday dan selektivitas yang tinggi untuk membentuk senyawa metanol serta biaya yang ekonomis (Fitriani, 2012). Pembentukan metanol stabil pada elektroda yang mengandung katalis Cu bersama ZnO yang mana faktor utama dalam mempertahankan aktivitas katalitik ialah kestabilan itu sendiri. Hal ini disebabkan ZnO dapat menstabilkan tembaga melalui proses penghilangan zat pengotornya yang menyebabkan tembaga tersebut menjadi terdeaktivasi (Albo *et al.*, 2015).

Selain tembaga, platina juga dipilih sebagai katalis dalam elektrolisis dikarenakan platina memperlihatkan tingginya aktivitas katalitik, stabilitas, dan ketahanannya terhadap korosi di lingkungan asam. Meskipun logam lain (seperti Pd, Fe, Co, dan Ru) juga dipergunakan sebagai katalis untuk elektrolisis, tetapi kinerja katalitik dan ketahanan korosinya lebih rendah daripada platina. Platina telah dianggap sebagai katalis pada anoda yang paling efektif untuk reaksi evolusi hidrogen (HER) dalam *splitting* air (Cheng *et al.*, 2016). Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan proses pembuatan elektroda yang menggunakan katalis Cu₂O-ZnO/C sebagai katoda dan elektroda dengan katalis Pt/C sebagai anoda. Katoda dan Anoda dibuat dengan persentase PTFE yang bervariasi (10%, 15%, 20%, dan 25%). Kemudian elektroda dijadikan MEA sebagai media konversi CO₂ menjadi metanol yang hasilnya akan dianalisis oleh *Methanol Analyzer*.

1.2 Rumusan Masalah

Berpacu pada latar belakang sebelumnya, dapat ditarik rumusan masalah pada penelitian ini ialah bagaimana pengaruh persentase PTFE pada lapisan katalis

Cu₂O-ZnO/C di katoda serta Pt/C di anoda terhadap karakteristik morfologi serta sifat elektrokimia elektroda dan bagaimana pengaruh persentase PTFE pada lapisan katalis Cu₂O- ZnO/C di katoda dan Pt/C di anoda terhadap persentase metanol yang dihasilkan dari proses konversi CO₂ metode reduksi elektrokimia.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini ialah :

1. Menentukan pengaruh persentase PTFE pada lapisan katalis Cu₂O-ZnO/C di katoda serta Pt/C di anoda terhadap karakteristik morfologi, ECSA, dan konduktivitasnya.
2. Menentukan persentase metanol yang dihasilkan dari proses konversi CO₂ melalui metode reduksi elektrokimia mempergunakan MEA dengan elektroda yang mengandung katalis Pt/C serta Cu₂O-ZnO/C pada persentase PTFE yang bervariasi.

1.4 Manfaat Penelitian

Harapannya kajian ini bisa memberi peranan dalam pengembangan konversi karbon dioksida menjadi metanol yang dapat dijadikan bahan bakar ramah lingkungan sehingga dapat dijadikan solusi efektif dalam mengurangi dampak negatif akibat emisi gas karbon dioksida.

DAFTAR PUSTAKA

- Aderyani, S., P. Flouda, S. A. Shah, M. J. Green, J. L. Lutkenhaus, and H. Ardebili. 2021. "Simulation of Cyclic Voltammetry in Structural Supercapacitors with Pseudocapacitance Behavior." *Electrochimica Acta* 390:138822. doi: 10.1016/j.electacta.2021.138822.
- Aghighi, Mahmoudreza, Michael A. Hoeh, Werner Lehnert, Geraldine Merle, and Jeff Gostick. 2016. "Simulation of a Full Fuel Cell Membrane Electrode Assembly Using Pore Network Modeling." *Journal of The Electrochemical Society* 163(5):F384–92. doi: 10.1149/2.0701605jes.
- Al-Kalbani, Haitham, Jin Xuan, Susana García, and Huizhi Wang. 2016. "Comparative Energetic Assessment of Methanol Production from CO₂: Chemical versus Electrochemical Process." *Applied Energy* 165:1–13. doi: 10.1016/j.apenergy.2015.12.027.
- Albo, J., M. Alvarez-Guerra, P. Castaño, and A. Irabien. 2015. "Towards the Electrochemical Conversion of Carbon Dioxide into Methanol." *Green Chemistry* 17(4):2304–24. doi: 10.1039/c4gc02453b.
- Alhabib, Albar, Rahmat Gunawan, and Saibun Sitorus. 2014. "Penggunaan Monomer Nafion Sebagai Pembawa Proton (H⁺) Dengan Metode Teori Fungsi Kerapatan." *Jurnal Kimia Mulawarman* 12(1):42–44.
- Amiinu, Ibrahim Saana, Yu Lin, Haolin Tang, Mu Pan, and Haining Zhang. 2013. "Metal Oxides as Water Retention Materials for Low Humidity Proton Exchange Membrane Applications." *New Developments in Metal Oxides Research* (October):81–108.
- Amiruddin, Arfis, and Fachreza Alisyahnara Lubis. 2018. "Analisa Pengujian Lelah Material Tembaga Dengan." *Jurnal Ilmiah "MEKANIK" Teknik Mesin ITM* 4(2):93–99.
- Antxustegi, M. M., A. R. Pierna, and N. Ruiz. 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):3978–83. doi: 10.1016/j.ijhydene.2013.04.061.
- Attias, Ran, Ben Dlugatch, Munseok S. Chae, Yosef Goffer, and Doron Aurbach. 2021. "Changes in the Interfacial Charge-Transfer Resistance of Mg Metal Electrodes, Measured by Dynamic Electrochemical Impedance Spectroscopy." *Electrochemistry Communications* 124. doi: 10.1016/j.elecom.2021.106952.
- Avcioglu, Gokce S., Berker Ficicilar, and Inci Eroglu. 2016. "Effect of PTFE Nanoparticles in Catalyst Layer with High Pt Loading on PEM Fuel Cell Performance." *International Journal of Hydrogen Energy* 41(23):10010–20. doi: 10.1016/j.ijhydene.2016.03.048.

- Awalliyah, Annisa, Hafizah Ikhwan, Veny Nugiasari, and Rahadian Zainul. 2018. "Prinsip Dasar Milling Dalam Sintesis Material." *Laboratorium Kimia, FMIPA, Universitas Negeri Padang, Indonesia* 1(21):1–15.
- Biyik, S., and M. Aydin. 2014. "The Effect of the Amount of Process Control Agent on the Properties of Cu₂₅W Composite Powder." *WIT Transactions on the Built Environment* 137:189–200. doi: 10.2495/HPSM140171.
- Bogdan, Martin, Dominik Brugger, Wolfgang Rosenstiel, and Bernd Speiser. 2014. "Estimation of Diffusion Coefficients from Voltammetric Signals by Support Vector and Gaussian Process Regression." *Journal of Cheminformatics* 6(1). doi: 10.1186/1758-2946-6-30.
- Bonifácio, Rafael Nogueira, Almir Oliveira Neto, and Marcelo Linardi. 2014. "Influence of the Relative Volumes between Catalyst and Nafion Ionomer in the Catalyst Layer Efficiency." *International Journal of Hydrogen Energy* 39(27):14680–89. doi: 10.1016/j.ijhydene.2014.07.004.
- Brightman, E., G. Hinds, and R. O'Malley. 2013. "In Situ Measurement of Active Catalyst Surface Area in Fuel Cell Stacks." *Journal of Power Sources* 242:244–54. doi: 10.1016/j.jpowsour.2013.05.046.
- Cao, Zhi qian, Ming zai Wu, Hai bo Hu, Guo jin Liang, and Chun yi Zhi. 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(7):670–84. doi: 10.1038/s41427-018-0063-0.
- Chen, Fei, Peipei Zhang, Yan Zeng, Rungtiwa Kosol, Liwei Xiao, Xiaobo Feng, Jie Li, Guangbo Liu, Jinhu Wu, Guohui Yang, Yoshiharu Yoneyama, and Noritatsu Tsubaki. 2020. "Vapor-Phase Low-Temperature Methanol Synthesis from CO₂-Containing Syngas via Self-Catalysis of Methanol and Cu/ZnO Catalysts Prepared by Solid-State Method." *Applied Catalysis B: Environmental* 279(June):119382. doi: 10.1016/j.apcatb.2020.119382.
- Chen, Kunfeng, and Dongfeng Xue. 2014. "Cu-Based Materials as High-Performance Electrodes toward Electrochemical Energy Storage." *Functional Materials Letters* 7(1):1–9. doi: 10.1142/S1793604714300011.
- Cheng, Niancai, Samantha Stambula, Da Wang, Mohammad Norouzi Banis, Jian Liu, Adam Riese, Biwei Xiao, Ruying Li, Tsun Kong Sham, Li Min Liu, Gianluigi A. Botton, and Xueliang Sun. 2016. "Platinum Single-Atom and Cluster Catalysis of the Hydrogen Evolution Reaction." *Nature Communications* 7:1–9. doi: 10.1038/ncomms13638.
- Desale, D. D., and H. B. Pawar. 2018. "Performance Analysis of Polytetrafluoroethylene as Journal Bearing Material." *Procedia Manufacturing* 20:414–19. doi: 10.1016/j.promfg.2018.02.060.

- Endrődi, B., G. Bencsik, F. Darvas, R. Jones, K. Rajeshwar, and C. Janáky. 2017. "Continuous-Flow Electroreduction of Carbon Dioxide." *Progress in Energy and Combustion Science* 62:133–54. doi: 10.1016/j.pecs.2017.05.005.
- Fadzillah, D. M., M. I. Rosli, M. Z. M. Talib, S. K. Kamarudin, and W. R. W. Daud. 2017. "Review on Microstructure Modelling of a Gas Diffusion Layer for Proton Exchange Membrane Fuel Cells." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 77(November):1001–9. doi: 10.1016/j.rser.2016.11.235.
- Farid, Faizar, Mardian Peslinof, Yoza Fendriani, samsidar, Linda Handayani, Rustan, and M. Ficky Afrianto. 2020. "Perancangan Alat Ukur Multi Sensor Yang Terintegrasi Untuk Pengukuran Karakteristik Tanah Gambut." *Journal Online of Physics* 6(1):24–31.
- Fitriani Lisa. 2012. "Studi Reaksi Reduksi CO₂ Dengan Metode Elektrokimia Menggunakan Elektroda Cu." *Kimia* 1–71.
- G., Venkateswarlu, and Sharada R. and Bhagvanth Rao M. 2014. "Polytetrafluoroethylene (PTFE) Based Composites." *Journal of Chemical and Pharmaceutical Research* 6(11):108–16.
- Gao, Yu Yang, Feng Qiu, Run Geng, Jian Ge Chu, Qing Long Zhao, and Qi Chuan Jiang. 2019. "Effects of Nanosized TiCp Dispersion on the High-Temperature Tensile Strength and Ductility of in Situ TiCp/Al-Cu-Mg-Si Nanocomposites." *Journal of Alloys and Compounds* 774:425–33. doi: 10.1016/j.jallcom.2018.10.052.
- Guaitolini, Stéfani V. M., and Jussara F. Fardin. 2018. "Fuel Cells: History (Short Remind), Principles of Operation, Main Features, and Applications." *Advances in Renewable Energies and Power Technologies* 2:123–50. doi: 10.1016/B978-0-12-813185-5.00013-9.
- Hakim, Muh Supwatul, Haryoko Pangestu, Prodi Kimia, and Fakultas Matematika. 2015. "Studi Konversi Karbon Dioksida Dengan Teknik Reduksi Elektrokimia Menggunakan Elektroda Tembaga." *Prosiding SNIJA*.
- Hawa Yulianti, Dwi, Dedi Rohendi, Nirwan Syarif, and Addy Rachmat. 2019. "Performance Test of Membrane Electrode Assembly in DAFC Using Mixed Methanol and Ethanol Fuel with Various Volume Comparison." *Indonesian Journal of Fundamental and Applied Chemistry* 4(3):139–42. doi: 10.24845/ijfac.v4.i3.139.
- Hoten, Hendri Van, Pengajar Program, Studi Teknik, Mesin Fakultas, Teknik Universitas, Bengkulu Jl, and W. R. Supratman Bengkulu. 2020. "DARI CANGKANG TELUR AYAM BROILER The Research Is about a Nalysis of Nano Sized Bioceramic Characterization Using Particle Size Analyzer (PSA). In the Previous Research , Optimization of the Parameters of Making Nano Powders on Ball Mill Machines Using T." 13(April):3–7.

- Hua, Yani, Jingyi Wang, Ting Min, and Zhan Gao. 2022. "Electrochemical CO₂ Conversion towards Syngas: Recent Catalysts and Improving Strategies for Ratio-Tunable Syngas." *Journal of Power Sources* 535(April):231453. doi: 10.1016/j.jpowsour.2022.231453.
- Irfan Malik, M., Zuhair Omar Malaibari, Muataz Atieh, and Basim Abussaud. 2016. "Electrochemical Reduction of CO₂ to Methanol over MWCNTs Impregnated with Cu₂O." *Chemical Engineering Science* 152:468–77. doi: 10.1016/j.ces.2016.06.035.
- Jayakumar, Arunkumar, Sarat Singamneni, Maximiano Ramos, Ahmed M. Al-Jumaily, and Sethu Sundar Pethaiah. 2017. "Manufacturing the Gas Diffusion Layer for PEM Fuel Cell Using a Novel 3D Printing Technique and Critical Assessment of the Challenges Encountered." *Materials* 10(7). doi: 10.3390/ma10070796.
- Jinli Qiao, Yuyu Liu, and Jiujun Zhang. 2016. *Electrochemical Reduction of Carbon Dioxide Fundamentals and Technologies*.
- Joghee, Prabhuram, Jennifer Nekuda Malik, Svitlana Pylypenko, and Ryan O'Hayre. 2015. "A Review on Direct Methanol Fuel Cells—In the Perspective of Energy and Sustainability." *MRS Energy & Sustainability* 2(1):1–31. doi: 10.1557/mre.2015.4.
- Kartika, Wahyu. 2021. "Studi Pemanfaatan Limbah CO₂ Menjadi CO₂ Cair Dengan Teknologi CO₂ Purification Di Industri Baja." *Jurnal Jaring SainTek* 3(2):51–58. doi: 10.31599/jaringsaintek.v3i2.738.
- König, Maximilian, Jan Vaes, E. Klemm, and Deepak Pant. 2019. "Solvents and Supporting Electrolytes in the Electrocatalytic Reduction of CO₂." *IScience* 19:135–60. doi: 10.1016/j.isci.2019.07.014.
- Kuhl, Kendra P., Etosha R. Cave, David N. Abram, and Thomas F. Jaramillo. 2012. "New Insights into the Electrochemical Reduction of Carbon Dioxide on Metallic Copper Surfaces." *Energy and Environmental Science* 5(5):7050–59. doi: 10.1039/c2ee21234j.
- Lin, Xin, Xunlin Liu, Yang Zhao, Jiao Lan, Kang Jiang, Zhixiao Liu, Feng Xie, and Yongwen Tan. 2022. "Dynamic Surface Restructuring of Nanoporous Cu_{2-x}Se for Efficient CO₂ Electroreduction into Methanol." *Journal of Energy Chemistry* 71:514–20. doi: 10.1016/j.jechem.2022.03.032.
- Liu, Chao Yang, and Chia Chi Sung. 2012. "A Review of the Performance and Analysis of Proton Exchange Membrane Fuel Cell Membrane Electrode Assemblies." *Journal of Power Sources* 220:348–53. doi: 10.1016/j.jpowsour.2012.07.090.
- Liu, Shuai, Klaus Wippermann, and Werner Lehnert. 2021. "Mechanism of Action of Polytetrafluoroethylene Binder on the Performance and Durability of High-

- Temperature Polymer Electrolyte Fuel Cells.” *International Journal of Hydrogen Energy* 46(27):14687–98. doi: 10.1016/j.ijhydene.2021.01.192.
- Luo, Zhenmin, Xuqing Wang, Siqi Zhang, Tao Wang, He Liang, Jingwen Liu, Jie Deng, and Jun Deng. 2022. “Experimental Study on the Flammability Limit Parameters of Premixed Methanol-Gasoline Vapor-Air Mixtures.” *Journal of Loss Prevention in the Process Industries* (January):104856. doi: 10.1016/j.jlp.2022.104856.
- Malasari1, Nia Nur, Holia Onggo2, and Mamat Rokhmat 3. 2014. “INTEGRASI POLYMER ELECTROLYTE MEMBRANE (PEM) FUEL CELL DAN ANALISIS PENGARUH JUMLAH SEL TERHADAP PERFORMANSI BERDASARKAN DATA KURVA KARAKTERISTIK.” 1–6.
- Martín, Antonio J., Gastón O. Larrazábal, and Javier Pérez-Ramírez. 2015. “Towards Sustainable Fuels and Chemicals through the Electrochemical Reduction of CO₂: Lessons from Water Electrolysis.” *Green Chemistry* 17(12):5114–30. doi: 10.1039/c5gc01893e.
- Martono, Martono, and Ninong Komala. 2018. “Concentration Conditions of Carbon Dioxide in Bukittinggi During the Event of El Niño 2015.” *JKPK (Jurnal Kimia Dan Pendidikan Kimia)* 3(3):118. doi: 10.20961/jkpk.v3i3.24860.
- Masta, Ngia. 2020. “Buku Materi Pembelajaran Scanning Electron Microscopy.” *Patra Widya: Seri Penerbitan Penelitian Sejarah Dan Budaya*. 21(3):i–iii.
- Meyer, Quentin, Yachao Zeng, and Chuan Zhao. 2019. “Electrochemical Impedance Spectroscopy of Catalyst and Carbon Degradations in Proton Exchange Membrane Fuel Cells.” *Journal of Power Sources* 437(May):226922. doi: 10.1016/j.jpowsour.2019.226922.
- Miko, T., F. Kristaly, K. Bohacs, M. Sveda, A. Sycheva, and D. Janovszky. 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). doi: 10.1088/1757-899X/426/1/012035.
- Nanang, M., Ziad Fatmizal, Memoria Rosi, and Abrar Ismardi. 2021. “Fabrikasi Elektroda Karbon Aktif Dengan Metoda Deposisi Elektroforesis Activated Carbon Electrode Fabrication Using Electrophoretic Deposition Method.” *E-Proceeding of Engineering* 8(5):5676–84.
- Onishi, Naoya, and Yuichiro Himeda. 2022. “Homogeneous Catalysts for CO₂ Hydrogenation to Methanol and Methanol Dehydrogenation to Hydrogen Generation.” *Coordination Chemistry Reviews* 472:214767. doi: 10.1016/j.ccr.2022.214767.
- Orhan, Mehmet F., Kenan Saka, and Huseyin Kahraman. 2020. “Analysis and

- Modeling of a Membrane Electrode Assembly in a Proton Exchange Membrane Fuel Cell.” *Journal of Renewable and Sustainable Energy* 12(4). doi: 10.1063/5.0002948.
- Pangesthiaji, Ganive, and A. Bahan. 2013. “Pengaruh Milling Time Terhadap Pembentukan Fasa γ -MgAl Hasil Mechanical Alloying.” *Jurnal Teknik POMITS* 2(1):68–72.
- Park, Jaeman, Hwanyeong Oh, Taehun Ha, Yoo Il Lee, and Kyoungdoug Min. 2015. “A Review of the Gas Diffusion Layer in Proton Exchange Membrane Fuel Cells: Durability and Degradation.” *Applied Energy* 155:866–80. doi: 10.1016/j.apenergy.2015.06.068.
- Park, Sehkyu, Jong Won Lee, and Branko N. Popov. 2012. “A Review of Gas Diffusion Layer in PEM Fuel Cells: Materials and Designs.” *International Journal of Hydrogen Energy* 37(7):5850–65. doi: 10.1016/j.ijhydene.2011.12.148.
- Prabasworo, Agha. 2018. “ANALISIS PENGARUH MATERIAL PTFE (TEFLON) SEBAGAI PENGGANTI KUNINGAN PADA BEARING STERN TUBE KAPAL Agha Prabasworo.” *Seminar Nasional Sains Dan Teknologi Terapan VI 2018* 493–98.
- Ramadan, Septian, and Riyanto Riyanto. 2017. “Conversion of Carbon Dioxide To Ethanol By Electrochemical Synthesis Method Using Brass As a Cathode.” *Jurnal Eksakta* 17(2):86–97. doi: 10.20885/eksakta.vol17.iss2.art1.
- Ren, Xuefeng, Qianyuan Lv, Lifen Liu, Bihe Liu, Yiran Wang, Anmin Liu, and Gang Wu. 2019. “Current Progress of Pt and Pt-Based Electrocatalysts Used for Fuel Cells.” *Sustainable Energy and Fuels* 4(1):15–30. doi: 10.1039/c9se00460b.
- Rezaei Niya, Seyed Mohammad, and Mina Hoorfar. 2013. “Study of Proton Exchange Membrane Fuel Cells Using Electrochemical Impedance Spectroscopy Technique - A Review.” *Journal of Power Sources* 240:281–93. doi: 10.1016/j.jpowsour.2013.04.011.
- Rifal, Mohamad, and Nazarudin Sinaga. 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. doi: 10.32662/gojise.v1i1.140.
- Rohendi, D., N. Syarif, M. Said, M. T. Utami, and Y. Marcelina. 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). doi: 10.1088/1742-6596/1282/1/012065.
- Rohendi, D., E. H. Majlan, A. B. Mohamad, W. R. W. Daud, A. A. H. Kadhum,

- and L. K. Shyuan. 2015. "Effects of Temperature and Backpressure on the Performance Degradation of MEA in PEMFC." *International Journal of Hydrogen Energy* 40(34):10960–68. doi: 10.1016/j.ijhydene.2015.06.161.
- Rohendi, D., E. H. Majlan, A. B. Mohamad, L. K. Shyuan, and J. Raharjo. 2016. "Indonesian Journal of Fundamental and Applied Chemistry Comparison of The Performance of Proton Exchange Membrane Fuel Cell (PEMFC) Electrodes with Different Carbon Powder Content and Methods of Manufacture." *IJFAC (Indonesian Journal of Fundamental and Applied Chemistry)* 1(3):61–66.
- Sajgure, Monika, Bhalchandra Kachare, Prashant Gawhale, Suraj Waghmare, and Ganesh Jagadale. 2016. "Direct Methanol Fuel Cell: A Review." *International Journal of Current Engineering and Technology INPRESSCO IJCET Special Issue* 6(6):2277–4106.
- Saputra, E., Berlian Sitorus, and Harlia. 2011. "Sintesis Komposit Polianilina-Selulosa Menggunakan Matriks Selulosa Dari Tandan Kosong Sawit." *Jkk* 2(1):58–64.
- Sawhney, M. A., E. A. Azzopardi, S. Rodrigues Teixeira, L. W. Francis, R. S. Conlan, and S. A. Gazze. 2019. "Measuring the Impact on Impedance Spectroscopy of Pseudo-Reference Electrode Accumulations." *Electrochemistry Communications* 105(July):106508. doi: 10.1016/j.elecom.2019.106508.
- Senthil Kumar, P., B. S. Sreeja, K. Krishna Kumar, and G. Padmalaya. 2022. "Investigation of Nafion Coated GO-ZnO Nanocomposite Behaviour for Sulfamethoxazole Detection Using Cyclic Voltammetry." *Food and Chemical Toxicology* 167(June):113311. doi: 10.1016/j.fct.2022.113311.
- Shahgaldi, Samaneh, Adnan Ozden, Xianguo Li, and Feridun Hamdullahpur. 2019. "A Novel Membrane Electrode Assembly Design for Proton Exchange Membrane Fuel Cells: Characterization and Performance Evaluation." *Electrochimica Acta* 299:809–19. doi: 10.1016/j.electacta.2019.01.064.
- Sinaga, Nazaruddin, and Mohamad Rifal. 2017. "Pengaruh Komposisi Bahan Bakar Metanol-Bensin Terhadap Torsi Dan Daya Sebuah Mobil Penumpang Sistem Injeksi Elektronik 1200 CC." *Rotasi* 19(3):147. doi: 10.14710/rotasi.19.3.147-155.
- Siregar, Shinta Marito. 2017. "Pengaruh Bahan Elektroda Terhadap Kelistrikan Belimbing Wuluh (Averrhoa Bilimbi) Sebagai Solusi." *Jurnal Penelitian Pendidikan MIPA* 2(1).
- Sitanggang, Ramli. 2018. "Pemetaan Dan Analisis Penelitian Pengurangan Tebal Lapisan Film Pada Lapisan Diffusi Gas PEM Fuel Cell." *Eksergi* 15(2):59. doi: 10.31315/e.v15i2.2453.

- Soto-Hernández, J., C. R. Santiago-Ramirez, E. Ramirez-Meneses, M. Luna-Trujillo, Jin An Wang, L. Lartundo-Rojas, and A. Manzo-Robledo. 2019. "Electrochemical Reduction of NO_x Species at the Interface of Nanostructured Pd and PdCu Catalysts in Alkaline Conditions." *Applied Catalysis B: Environmental* 259(x):118048. doi: 10.1016/j.apcatb.2019.118048.
- St-Pierre, Jean, and Yunfeng Zhai. 2020. "Impact of the Cathode Pt Loading on PEMFC Contamination by Several Airborne Contaminants." *Molecules* 25(5). doi: 10.3390/molecules25051060.
- Suratmin Utomo. 2013. "Bahan Berbahaya Dan Beracun (B3), Pengertian Dan Jenis." *KONVERSI* 1(1):1–3.
- Wicaksono, Muhamad Akbar, Lukman Noerochim, and Agung Purniawan. 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). doi: 10.12962/j23373539.v10i2.63997.
- Widiyastuti, Dewi Amelia. 2016. "Pengamatan Scanning Electron Microscope (SEM) Pada Struktur Dan Mineral Batuan Dari Sungai Aranio Kabupaten Banjar." *Jurnal Sains Dan Terapan Politeknik Hasnur* 5(2):16–21.
- Wu, Kangcheng, Zixuan Wang, Guobin Zhang, Linhao Fan, Mengqian Zhu, Xu Xie, Qing Du, Bingfeng Zu, and Kui Jiao. 2022. "Correlating Electrochemical Active Surface Area with Humidity and Its Application in Proton Exchange Membrane Fuel Cell Modeling." *Energy Conversion and Management* 251(May 2021):114982. doi: 10.1016/j.enconman.2021.114982.
- Xu, Tianfu, Hailong Tian, Huixing Zhu, and Jianchao Cai. 2022. "China Actively Promotes CO₂ Capture, Utilization and Storage Research to Achieve Carbon Peak and Carbon Neutrality." *Advances in Geo-Energy Research* 6(1):1–3. doi: 10.46690/ager.2022.01.01.
- Yang, Kailun, Recep Kas, Wilson A. Smith, and Thomas Burdyny. 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. doi: 10.1021/acseenergylett.0c02184.
- Yanuar, Hari, Akhmad Syarief, and Ach Kusairi. 2014. "Pengaruh Variasi Kecepatan Potong Dan Kedalaman Pemakanan Terhadap Kekasaran Permukaan Dengan Berbagai Media Pendingin Pada Proses Frais Konvensional." *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin Unlam* 03(1):27–33.
- Yazdani, Negar, Mohammad Reza Toroghinejad, Ali Shabani, and Pasquale Cavaliere. 2021. "Effects of Process Control Agent Amount, Milling Time, and Annealing Heat Treatment on the Microstructure of Al₇₀Cr₃₀ High-Entropy Alloy Synthesized through Mechanical Alloying." *Metals* 11(9). doi: 10.3390/met11091493.

Yi, Qiang, Qicai Liu, Feng Gao, Qingquan Chen, and Guina Wang. 2014. "Application of an Electrochemical Immunosensor with a MWCNT/PDAA Modified Electrode for Detection of Serum Trypsin." *Sensors (Switzerland)* 14(6):10203–12. doi: 10.3390/s140610203.