

**PREPARASI ANODA $\text{Cu}_2\text{O}/\text{C}$ DAN KATODA Pt/C DENGAN *DOPING*
POLIANILIN SERTA APLIKASINYA PADA
*DIRECT METHANOL FUEL CELL***

SKRIPSI

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



OLEH :

Marya Antonetty Tarigan

08031281823042

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

2022

HALAMAN PENGESAHAN

**PREPARASI ANODA $\text{Cu}_2\text{O}/\text{C}$ DAN KATODA Pt/C DENGAN *DOPING*
POLIANILIN SERTA APLIKASINYA
PADA *DIRECT METHANOL FUEL CELL***

SKRIPSI

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

Oleh:

Marya Antonetty Tarigan
08031281823042

Mengetahui,

Indralaya, 25 Juli 2022

Pembimbing



Dr. Nirwan Syarif, M.Si
NIP. 197010011999031003

Dekan FMIPA



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

HALAMAN PERSETUJUAN

Makalah Seminar Hasil Marya Antonetty Tarigan / 08031281823042 dengan judul “Preparasi Anoda $\text{Cu}_2\text{O}/\text{C}$ dan Katoda Pt/C dengan *Doping* Polianilin Serta Aplikasinya Pada *Direct Methanol Fuel Cell*” telah diseminarkan dihadapan Tim Penguji Seminar Hasil Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Sriwijaya pada Tanggal 28 Juni 2022 dan telah diperbaiki, diperiksa, serta disetujui sesuai masukan yang telah diberikan.

Indralaya, 25 Juli 2022

Ketua :

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

()

Sekretaris :

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

()

Pembimbing

1. **Dr. Nirwan Syarif, M. Si**
NIP. 19701001199931003

()

Penguji

1. **Dr. Addy Rachmat, M. Si**
NIP. 19740928200012001
2. **Prof. Dr. Muharni, M. Si**
NIP. 196808271994022001

()
()



Mengetahui,

Dekan FMIPA




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

Ketua Jurusan

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

HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama Mahasiswa : Marya Antonetty Tarigan

NIM : 08031281823042

Fakultas/Jurusan : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam/Kimia

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

Demikianlah surat pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Indralaya, 25 Juli 2022

Penulis



Marya Antonetty Tarigan

NIM. 08031281823042

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

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

Nama Mahasiswa : Marya Antonetty Tarigan
NIM : 08031281823042
Fakultas/Jurusan : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam/Kimia
Jenis Karya : Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, saya menyetujui untuk memberikan kepada Universitas “Preparasi Anoda $\text{Cu}_2\text{O}/\text{C}$ dan Katoda Pt/C dengan *Doping* Polianilin Serta Aplikasinya Pada *Direct Methanol Fuel Cell*”. 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, 25 Juli 2022



Marya Antonetty Tarigan
NIM. 08031281823042

HALAMAN PERSEMBAHAN

- Pengkhotbah 3 : 1 “Untuk segala sesuatu ada masanya, untuk apa pun di bawah langit ada waktunya”.
- Filipi 4 : 6 “Janganlah hendaknya kamu khawatir tentang apa pun juga, tetapi nyatakanlah dalam segala hal keinginanmu kepada Allah dalam doa dan permohonan dengan ucapan syukur”.
- Amsal 23 : 18 “Karena masa depan sungguh ada dan harapanmu tidak akan hilang”
- Bilangan 6 : 24-26 “TUHAN memberkati engkau dan melindungi engkau; TUHAN menyinari engkau dengan wajah-Nya dan memberi engkau kasih karunia; TUHAN menghadapkan wajah-Nya kepadamu dan memberi engkau damai sejahtera”.

Skripsi ini sebagai tanda syukurku kepada Tuhan Yesus Kristus dan kupersembahkan kepada :

1. Bapak, Hermanto Tarigan; Mamak, Tuti Ariani Sitepu; Adik, Marsella Terenzi Tarigan dan Moudy Emellin Tarigan yang telah memberikan semangat, dukungan dan saran dalam berbagai hal selama menempuh pendidikan.
2. Seluruh keluargaku.
3. Pembimbing dan teman-temanku.
4. Diriku sendiri yang telah berani dan berjuang hingga sampai di tahap ini.
5. Alamameterku (Universitas Sriwijaya).

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur kita panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa, karena atas berkat, penyertaan dan rahmat-Nya, penulis dapat menyelesaikan penelitian dan penulisan skripsi yang berjudul : “Preparasi Anoda $\text{Cu}_2\text{O}/\text{C}$ dan Katoda Pt/C dengan *Doping* Polianilin Serta Aplikasinya Pada *Direct Methanol Fuel Cell*”. Skripsi ini dibuat sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana sains pada Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Jurusan Kimia Universitas Sriwijaya.

Proses penulisan skripsi ini tidak terlepas dari berbagai hal yang berkesan dan mengalami lika liku perjalanan mulai dari proses penelitian, proses pengumpulan data, pengolahan data, studi literatur hingga tahap penulisan. Namun, dengan hadirnya orang-orang baik disekitar penulis yang siap membantu dan memberi semangat, kesabaran yang selalu dilatih, doa yang penulis lantunkan dan rasa tanggung jawab sebagai mahasiswa, penulis akhirnya dapat menyelesaikan proses penulisan skripsi ini dengan baik.

Penulis mengucapkan terima kasih kepada orang-orang yang hadir dalam kehidupan penulis selama empat tahun menempuh pendidikan di Universitas Sriwijaya. Terima kasih untuk setiap pembelajaran positif yang diberikan melalui pengalaman, saran dan nasihat sehingga penulis dapat menyelesaikan perkuliahan dengan baik dan termotivasi untuk terus meningkatkan kualitas diri. Terima kasih penulis sampaikan pada :

1. Bapak Prof. Hermansyah, Ph.D selaku Dekan FMIPA Universitas Sriwijaya.
2. Ibu Prof. Dr. Muharni, M.Si selaku Ketua Jurusan Kimia FMIPA Universitas Sriwijaya.
3. Bapak Dr. Addy Rachmat, M.Si selaku Sekretaris Jurusan Kimia FMIPA Universitas Sriwijaya.
4. Bapak Dr. rer. nat. Risfidian Mohadi, S.Si., M.Si selaku dosen pembimbing akademik yang telah banyak memberikan saran kepada penulis dalam proses perkuliahan.

5. Bapak Dr. Nirwan Syarif, M.Si selaku dosen pembimbing yang telah banyak memberikan bimbingan dan arahan kepada penulis dalam proses penelitian dan penulisan sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.
6. Bapak Zainal Fanani, M.Si yang telah memberikan kesempatan kepada penulis untuk mengikuti kegiatan PMW Unsri 2021.
7. Seluruh Dosen FMIPA KIMIA Unsri yang telah memberikan ilmu pengetahuan dan membimbing penulis selama masa perkuliahan di Universitas Sriwijaya.
8. Bapak Hermanto Tarigan, Mamak Tuti Ariani Sitepu, Adik Marsella Terenzi Tarigan dan Moudy Emellin Tarigan yang telah kebersamai penulis dari kejauhan. Terima kasih untuk setiap cinta dan sayang, dukungan dalam bentuk moral dan moril, semangat dan motivasi, segala doa yang diberikan serta selalu siap menjadi tempat bagi penulis untuk bercerita mengenai kesulitan dan pencapaian yang penulis alami hingga penulis meraih gelar sarjana.
9. Member “SGS”, Fadhila Annisa Mawaddah, Rotua Natalia Manalu, Salsabillah Aska Pirdausia, Sabrina Anastasya, Vika Putri Safitri yang menjadi *geng* pertama penulis di kimia. Terima kasih telah menemani dalam empat tahun perkuliahan, terima kasih untuk setiap cerita dan pengalaman yang kita jalani, terima kasih untuk setiap dukungan, motivasi, doa, tenaga dan waktu yang kalian berikan untuk penulis. Semua yang kita jalani bersama semoga menjadi cerita yang indah untuk dikenang dan motivasi untuk perjalanan berikutnya. Until we meet again ya.
10. “Kulkas Hilang”, Delima Sukmawati Sihombing, Rotua Natalia Manalu, Sabrina Anastasya yang menjadi *geng* terakhir penulis di kimia. Terima kasih karena sudah berbagi cerita dengan intens dimulai dari proses penelitian pada bidang masing-masing hingga saat ini. Terima kasih untuk setiap cerita, dukungan dan motivasi dalam

penyelesaian masa penelitian dan masa studi penulis di kimia. Tolong diingat susahnya masa-masa kelam biar semakin berguna jadi manusia. Semangat jadi orang sukses dan jangan anarkis ya.

11. Jemz Suzura Ginting, terima kasih untuk setiap dukungan dan saran yang diberikan kepada penulis baik dalam bidang akademik dan non akademik. Terima kasih untuk setiap motivasi dan doa yang diberikan dalam berbagai hal. Terima kasih sudah bersedia menjadi salah satu tempat bagi penulis untuk berbagi rasa, bercerita, berdebat dan berkeluh kesah. Semoga selalu ada solusi dalam tiap kesulitan dan jalan baik untuk proses selanjutnya.
12. Kepada “T6TER” dan “8 gadis” yang terlalu banyak untuk dijabarkan plus Abel Bangun, Iven Baga Batubara dan Kevin Alexander Ginting. Terima kasih sudah memberi bekal kepada penulis tentang tipikal manusia pada zaman SMA lewat tingkah yang kekanak-kanakan dan dewasa sebelum waktunya. Semoga segala kesibukan dan perjuangan kita saat ini bisa memperbaiki kualitas hidup dan diri. Tetap tempat *favourite meetup* di Medan ya.
13. Kepada mentor PUR Kak Dwi, Kak Icha dan Kak Reka. Terima kasih untuk trio kakak yang telah banyak membantu dalam proses penelitian, mengarahkan dan berbagi ilmu mengenai *fuel cell*. Terima kasih sudah menjadi tempat pertama untuk penampungan setiap pertanyaan saat penulis di lab. Semoga selalu dilingkupi kebahagiaan.
14. Kepada “Purgeng18”, Ilyas, Sandi, Cici, Fatma, Sabrina, Igam, Anin, Devi, Eko, Ade, Dinda, Suteja, Prima, Irma yang telah banyak membantu dan menemani masa-masa penelitian yang pekat seperti karbon sehingga penelitian penulis dapat berjalan dengan baik. Semangat untuk setiap proses kalian, ngeluh boleh, nyerah jangan.
15. “PERMATA” dan segala manusia di dalamnya, terkhusus Bang Agi, Salsa, Bang Billy, Kak Depi, Laura, Kak Anggi, Zaneta, Ella, Garce dan Bang Roy. Terima kasih sudah melibatkan penulis dalam pelayanan

di GBKP Palembang, sehingga penulis dapat melupakan sejenak penelitian dan memikirkan proker. Terima kasih sudah mengubah kesibukan ini menjadi rasa tanggung jawab. Untuk Bang Damar, terima kasih bang sudah sedikit terlibat pada masa-masa akhir perkuliahan penulis. Cara abang yang menyebalkan ternyata dapat memotivasi.

16. “Getsemani Squad”, Bang Jonathan, Kak Yohana, Kak Bella, Kak Friska, Rani, Sabrina, Nata, Antonia dan Jhon yang telah kebersamai penulis dalam perkuliahan dan menjadi wadah pertumbuhan iman penulis dalam pelayanan PDO Getsemani MIPA.
17. Kepada “Page Gersing” plus Gusty terima kasih sudah kebersamai penulis dalam dunia perantauan dan berbagi cerita. Semoga apa yang kita perjuangkan hari ini dapat berbuah manis kelak. Sukses untuk kita semua ya.
18. Teman seperjuangan kimia 2018 serta adik tingkat 2019, 2020 dan 2021 yang telah kebersamai sebagai keluarga satu almamater.
19. Kepada Mba Novi dan Kak Chosiin selaku admin jurusan kimia yang telah berbaik hati banyak membantu kelancaran proses perkuliahan hingga tugas akhir selesai.

Penulis menyadari penulisan skripsi ini masih jauh dari kata sempurna. Penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun dari para pembaca sehingga menjadi pembelajaran bagi penulis untuk penulisan yang lebih baik. Semoga skripsi ini bermanfaat bagi kita semua.

Indralaya, 25 Juli 2022

Penulis



Marya Antonetty Tarigan

SUMMARY

PREPARATION OF $\text{Cu}_2\text{O}/\text{C}$ ANODE AND Pt/C CATHODE WITH DOPING OF POLIANILIN AND THE APPLICATION IN DIRECT METHANOL FUEL CELL

Marya Antonetty Tarigan, Supervised by Dr. Nirwan Syarif, M.Si
Department of Chemistry, Faculty of Mathematics and Natural Sciences, Sriwijaya
University

ix + 89 pages, 6 tabels, 20 figures, 5 attachments.

Preparation of $\text{Cu}_2\text{O}/\text{C}$ and Pt/C catalyst supported on substrate in the form of carbon sheets from gelam bark and carbon vulcan doped with polyaniline using by membrane electrode assembly (MEA) in the direct methanol fuel cell. Carbon sheets and carbon vulcan were mixed with $\text{Cu}_2\text{O}/\text{C}$ and Pt/C catalyst inks, polyaniline, PTFE and nafion, then sprayed onto surface of the gas diffusion layer (GDL) to form an electrode layers. MEA consists of membrane Nafion-117 that flanked by two electrodes, an anode and a cathode. The anode using by a $\text{Cu}_2\text{O}/\text{C}$ catalyst and the cathode using by a Pt/C catalyst. Electrochemical properties, conductivity, MEA performance and hydrophobicity of the coating were tested using Cyclic Voltammetry (CV), Electrochemical Impedance Spectroscopy (EIS), variations in workload, methanol concentration and contact angle analysis.

Based on CV measurement data, the $\text{Cu}_2\text{O}/\text{C}$ electrodes 60% carbon vulcan GDL vulcan and Pt/C electrodes 40% carbon vulcan + carbon sheets GDL sheets showed the highest catalytic activity of $7204 \text{ cm}^2/\text{g}$ and $16996.67 \text{ cm}^2/\text{g}$. Based on the EIS measurement data, the $\text{Cu}_2\text{O}/\text{C}$ electrodes 40% carbon vulcan GDL vulcan and Pt/C electrodes 40% carbon vulcan GDL sheets showed the highest electrical conductivity values of $0.041 \text{ S}/\text{cm}$ and $0.033 \text{ S}/\text{cm}$. MEA performance test gave the best result at 10% methanol concentration. The results of the hydrophobicity test showed that GDL with carbon vulcan had a larger contact angle than GDL with sheets carbon of 145.18° and 149.15° .

Keywords : DMFC, MEA, carbon sheets, carbon vulcan, polyaniline, $\text{Cu}_2\text{O}/\text{C}$,
 Pt/C , conductivity value, ECSA, hydrophobicity

Sitation : 83 (2004-2022)

RINGKASAN

PREPARASI ANODA $\text{Cu}_2\text{O}/\text{C}$ DAN KATODA Pt/C DENGAN *DOPING* POLIANILIN SERTA APLIKASINYA PADA *DIRECT METHANOL FUEL CELL*

Marya Antonetty Tarigan, dibimbing oleh Dr. Nirwan Syarif, M.Si.
Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Sriwijaya
ix + 89 halaman, 6 tabel, 20 gambar, 5 lampiran.

Telah dilakukan penelitian mengenai pengaplikasian katalis $\text{Cu}_2\text{O}/\text{C}$ dan Pt/C dengan substrat berupa karbon *sheets* dari kulit batang kayu gelam dan karbon *vulcan* yang didoping polianilin menggunakan *membrane electrode assembly* (MEA) pada *direct methanol fuel cell*. Karbon *sheets* dan karbon *vulcan* masing-masing dicampurkan dengan tinta katalis $\text{Cu}_2\text{O}/\text{C}$ dan tinta katalis Pt/C , polianilin, PTFE dan nafion kemudian disemprotkan ke atas permukaan *gas diffusion layer* (GDL) membentuk lapisan elektroda. MEA terdiri dari membran Nafion-117 yang diapit oleh dua elektroda berupa anoda dan katoda. Anoda menggunakan katalis $\text{Cu}_2\text{O}/\text{C}$ dan katoda menggunakan katalis Pt/C . Sifat elektrokimia, konduktivitas, kinerja MEA dan hidrofobisitas lapisan diuji menggunakan *Cyclic Voltammetry* (CV), *Electrochemical Impedance Spectroscopy* (EIS), variasi beban kerja dan konsentrasi metanol serta analisa sudut kontak.

Berdasarkan data pengukuran CV, elektroda $\text{Cu}_2\text{O}/\text{C}$ 60% karbon *vulcan* GDL *vulcan* dan elektroda Pt/C 40% karbon *vulcan* + karbon *sheets* GDL *sheets* menunjukkan aktivitas katalitik yang paling tinggi sebesar $7.204 \text{ cm}^2/\text{g}$ dan $16.996,67 \text{ cm}^2/\text{g}$. Berdasarkan data pengukuran EIS, elektroda $\text{Cu}_2\text{O}/\text{C}$ 40% karbon *vulcan* GDL *vulcan* dan elektroda Pt/C 40% karbon *vulcan* GDL *sheets* menunjukkan nilai konduktivitas listrik tertinggi sebesar $0,041 \text{ S}/\text{cm}$ dan $0,033 \text{ S}/\text{cm}$. Uji kinerja MEA memberikan hasil terbaik pada konsentrasi metanol 10%. Hasil uji hidrofobisitas menunjukkan bahwa GDL dengan karbon *vulcan* memiliki sudut kontak yang lebih besar dibandingkan GDL dengan karbon *sheets* sebesar $145,18^\circ$ dan $149,15^\circ$.

Kata kunci : DMFC, MEA, karbon *sheets*, karbon *vulcan*, polianilin, $\text{Cu}_2\text{O}/\text{C}$, Pt/C , nilai konduktivitas, ECSA, hidrofobisitas
Sitasi : 83 (2004-2022)

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN	ii
HALAMAN PERSETUJUAN	iii
HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH	iv
HALAMAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS	v
HALAMAN PERSEMBAHAN	vi
KATA PENGANTAR	vii
SUMMARY	xi
RINGKASAN	xii
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR GAMBAR	xvi
DAFTAR TABEL	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 <i>Fuel Cell</i>	4
2.2 <i>Direct Methanol Fuel Cell (DMFC)</i>	5
2.3 Komponen Penyusun <i>Direct Methanol Fuel Cell (DMFC)</i>	6
2.3.1 <i>Bipolar Plate</i>	6
2.3.2 <i>Membrane Electrode Assembly (MEA)</i>	7
2.3.2.1 <i>Gas Diffusion Layer (GDL)</i>	8
2.3.2.2 Lapisan Katalis	9
2.3.2.3 Nafion	10
2.3.3 <i>End Plate</i>	11
2.4 Tembaga Sebagai Katalis	12
2.5 Platina Sebagai Katalis	12

2.6	Elektroda	13
2.7	<i>Metode Mechanical Alloying</i>	13
2.8	Karbon Aktif.....	14
2.9	Karbon <i>Sheets</i> dari Kulit Batang Kayu Gelam.....	15
2.10	Aktivasi Karbon.....	16
2.12	Karakterisasi	19
2.12.1	<i>Cyclic Voltammetry (CV)</i>	19
2.12.2	<i>Electrochemical Impedance Spectroscopy (EIS)</i>	20
2.12.3	Sifat Hidrofobitas	21
BAB III METODOLOGI PENELITIAN		23
3.1	Waktu dan Tempat	23
3.2	Alat dan Bahan	23
3.3	Prosedur Penelitian	23
3.3.1	Pembuatan Karbon <i>Sheets</i>	23
3.3.2	Pembuatan Pembuatan Polianilin (PANi)	24
3.3.3	Preparasi Serbuk Katalis Cu ₂ O/C	24
3.3.5	Pembuatan <i>Gas Diffusion Layer (GDL) Sheets</i>	25
3.3.4	Pembuatan Elektroda Katoda dan Anoda.....	25
3.3.4.1	Pembuatan Elektroda Anoda Cu ₂ O/C dengan Metode <i>Spraying</i>	25
3.3.4.2	Pembuatan Elektroda Katoda Pt/C dengan Metode <i>Spraying</i>	26
3.3.5.1	Pengujian Sifat Elektrokimia Elektroda dengan Metode <i>Cyclic Voltammetry (CV)</i>	26
3.3.5.2	Pengukuran Konduktivitas Elektrik dengan Metode <i>Electrochemical Impedance Spesctroscopy (EIS)</i> .	27
3.3.5.3	Karakteristik Sifat Hidrofobitas	28
3.3.6	Pembuatan dan Pengujian Kinerja MEA.....	28
3.3.6.1	Pembuatan MEA.....	28
3.3.6.2	Pengujian MEA dengan Kurva Polarisasi	28

3.3.7	Analisis Data.....	29
3.3.7.1	Analisis <i>Cyclic Voltammetry</i> (CV)	Error!
	Bookmark not defined.	
3.3.7.2	Analisis <i>Electrochemical Impedance Spescctroscopy</i> (EIS)	30
3.3.7.3	Analisis Kinerja MEA	30
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		31
4.1	Pembuatan Elektroda Cu ₂ O/C	31
4.2	Pembuatan Elektroda Pt/C.....	35
4.3	Karakteristik Elektroda.....	36
4.3.1	Pengukuran Sifat Elektrokimia Elektroda dengan Metode <i>Cyclic Voltammetry</i> (CV)	36
4.3.2	Pengukuran Nilai Konduktivitas Elektroda dengan Metode <i>Electrochemical Impedance Spectroscopy</i> (EIS).....	39
4.3.3	Karakteristik Hidrofobisitas	42
4.4	Pengujian Kinerja MEA	43
4.4.1	Pengukuran <i>Open Circuit Voltage</i> (OCV).....	44
4.4.2	Pengujian Kinerja MEA pada Beban Bervariasi	44
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		49
5.1	Kesimpulan	49
5.2	Saran	49
DAFTAR PUSTAKA		50
LAMPIRAN		57
DAFTAR RIWAYAT HIDUP		90

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Skema Kerja <i>Fuel Cell</i>	5
Gambar 2. Proses Elektrokimia pada Katoda	8
Gambar 3. Struktur Membran Nafion	11
Gambar 4. Reaksi Aktivasi Karbon Aktif dengan KOH.....	17
Gambar 5. Ukuran Pori Karbon Aktif.....	18
Gambar 6. Kurva <i>Nyquist</i>	21
Gambar 7. Pembuatan MEA	28
Gambar 8. Rangkaian Pengukuran OCV	29
Gambar 9. Bentuk Serbuk Karbon	31
Gambar 10. Katalis $\text{Cu}_2\text{O}/\text{C}$ Hasil <i>Milling</i>	32
Gambar 11. <i>Gas Diffusion Layer</i>	33
Gambar 12. Padatan Polianilin (PANi).....	34
Gambar 13. Elektroda $\text{Cu}_2\text{O}/\text{C}$ Bervariasi	35
Gambar 14. Elektroda Pt/C Bervariasi.....	36
Gambar 15. Kurva Voltammogram Elektroda Bervariasi.....	37
Gambar 16. Kurva <i>Nyquist</i> Elektroda Bervariasi.....	40
Gambar 17. Sudut Kontak Antara Air dan Permukaan.....	42
Gambar 18. Hasil Uji Kinerja MEA dengan Beban Bervariasi	45
Gambar 19. Grafik Hubungan Antara Kerapatan Arus dengan Tegangan	46
Gambar 20. Grafik Hubungan Antara Kerapatan Arus dengan Densitas Daya	47

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Komponen Katalis $\text{Cu}_2\text{O}/\text{C}$	25
Tabel 2. Perbandingan Komponen pada Anoda.....	26
Tabel 3. Nilai Puncak Anodik dan Puncak Katodik Elektroda Bervariasi	38
Tabel 4. Nilai ECSA Elektroda Bervariasi	38
Tabel 5. Nilai Konduktivitas Elektroda Bervariasi	41
Tabel 6. Nilai OCV MEA	44

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Skema Kerja	58
Lampiran 2. Perhitungan Komponen Elektroda.....	64
Lampiran 3. Perhitungan Nilai ECSA Elektroda	69
Lampiran 4. Perhitungan Nilai Konduktivitas Elektroda.....	83
Lampiran 5. Gambar Alat Penelitian	88

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pada umumnya, sumber utama energi yang digunakan manusia dalam kehidupan sehari-hari berupa sumber daya tak terbarukan seperti bahan bakar fosil, gas alam dan minyak bumi (Ong *et al.*, 2017). Kebutuhan manusia akan energi semakin tinggi ditinjau dari semakin pesatnya perkembangan teknologi yang masih menggunakan sumber daya tak terbarukan. Hal ini menyebabkan ketersediaannya semakin menipis. Selain itu, ditemukan bahwa sumber daya tak terbarukan mengandung zat beracun seperti karbon monoksida, karbon dioksida, asam-asam nitrat dan hidrokarbon. Zat beracun dari sumber daya tak terbarukan dalam jumlah yang banyak dapat membahayakan kehidupan makhluk hidup (Safrijal, Hadi *and* Urip, 2021). Oleh karena itu, diperlukan energi alternatif untuk menggantikan sumber daya tak terbarukan, salah satunya adalah gas hidrogen. Elektron yang dihasilkan oleh gas hidrogen dapat bereaksi dengan oksigen dan menghasilkan energi listrik menggunakan prinsip *fuel cell* (Ma'ruf dan Widiharsa, 2016).

Fuel cell merupakan alat elektrokimia yang dapat digunakan untuk mereaksikan hidrogen dan oksigen dengan bantuan katalis sehingga menghasilkan energi listrik dan energi panas (Ma'ruf dan Widiharsa, 2016). Terdapat beberapa jenis *fuel cell*, salah satunya adalah *Direct Methanol Fuel cell* (DMFC) yang menggunakan metanol sebagai bahan bakar. DMFC memiliki beberapa kelebihan antara lain, suhu pengoperasian yang rendah, tidak memerlukan energi listrik dalam pengoperasiannya serta pengisian bahan bakar yang mudah (Julian dan Santoso, 2016). Sebagai bahan bakar, metanol lebih aman digunakan dan memiliki kepadatan energi yang lebih tinggi (3.800 kkal/l) dibandingkan hidrogen (658 kkal/l) (Patel *et al.*, 2015).

Komponen utama DMFC berupa *Membrane Electrode Assembly* (MEA) dan dua plat bipolar. Pada MEA terdapat dua elektroda berupa katoda dan anoda (Rohendi *et al.*, 2016). Kinerja MEA dapat dipengaruhi oleh beberapa hal seperti kandungan katalis dan metode pembuatan elektroda. Penelitian ini menggunakan katalis berupa Platina (Pt) sebagai katoda dan Tembaga (Cu) sebagai anoda. Pt dan

Cu baik digunakan sebagai katalis pada *fuel cell* karena memiliki konduktivitas yang tinggi (Rachman dkk, 2017), bersifat stabil dan tahan terhadap korosi (Fitriani, 2012). Pembuatan elektroda pada penelitian ini menggunakan metode *spraying*. Metode ini dapat menghasilkan elektroda dengan pendistribusian katalis yang lebih seragam (Rohendi *et al.*, 2013).

Banyak penelitian yang telah dilakukan dalam preparasi karbon aktif biomassa untuk pembangunan berkelanjutan dengan berbagai sumber karbon, variasi aktivator dan waktu aktivasi, seperti preparasi karbon dari tempurung kelapa dengan nilai kapasitansi 209-228 F/g, preparasi karbon dari serbuk kelapa dengan nilai kapasitansi 266 F/g, preparasi karbon dari tongkol jagung dengan nilai kapasitansi 314 F/g, preparasi karbon dari limbah cangkang kepiting dengan nilai kapasitansi 322,5 F/g dan 223,4 F/g, preparasi karbon dari limbah kulit singkong yang menunjukkan nilai kapasitansi 153 F/g dan preparasi karbon dari kulit jeruk *didoping* nitrogen yang menunjukkan nilai kapasitansi 167 F/g (Kurniawati dan Surawan, 2020). Selain itu, Syarif dan Prasagi juga melakukan penelitian tentang preparasi karbon *sheets* dari kulit batang kayu gelam yang menunjukkan nilai konduktivitas 0,039 S/cm, nilai kapasitansi 10,3-23,2 mF/g, 87,18% kandungan karbon, 8,92% kandungan oksigen, 1,08% kandungan kalium dan 2,81% kandungan klorin (Syarif and Prasagi, 2016). Karbon *sheets* dapat digunakan sebagai pendukung katalis dan bahan elektroda karena memiliki stabilitas dan ketahanan termal yang tinggi (Kuang *et al.*, 2004).

Karbon yang ditambahkan dengan PANi memiliki luas permukaan yang lebih tinggi sebesar 29,26 m²/g dibandingkan luas permukaan karbon biasa. PANi juga mampu menjadi fasilitator dalam transfer ion ke elektroda sehingga kinerja elektroda menjadi optimal (Surianty dkk, 2013). Selain itu PANi juga dapat mengurangi terjadinya *crossover* metanol dari anoda ke katoda. Adanya *crossover* metanol dapat menyebabkan penurunan kinerja *fuel cell* karena terbentuknya metanol-oksidan (Escudero-Cid *et al.*, 2015). PANi yang *didoping* oleh HCl memiliki nilai konduktivitas yang lebih tinggi yaitu $7,27 \times 10^{-6} (\Omega\text{cm})^{-1}$ dibandingkan PANi murni dengan nilai konduktivitas sekitar $10^{-10} (\Omega\text{cm})^{-1}$ dalam kondisi kering (Putri dan Putra, 2014).

Berdasarkan penjelasan diatas, dilakukan studi mengenai kinerja katalis DMFC menggunakan katalis Pt/C dan Cu₂O/C dengan substrat berupa karbon *sheets* dan karbon *vulcan* yang *didoping* oleh PANi sebagai polimer konduktif.

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana membuat dan mengkarakterisasi elektroda menggunakan katalis Cu₂O/C dan Pt/C dengan substrat karbon *sheets* dari kulit batang kayu gelam dan karbon *vulcan* yang *didoping* polianilin sebagai polimer konduktif?
2. Bagaimana pengaruh pemberian beban kerja dengan berbagai variasi konsentrasi metanol terhadap kinerja MEA pada DMFC?

1.3 Tujuan Penelitian

1. Membuat dan mengkarakterisasi elektroda menggunakan katalis Cu₂O/C dan Pt/C dengan substrat berupa karbon *sheets* dari kulit batang kayu gelam dan karbon *vulcan* yang *didoping* polianilin menggunakan metode metode *Cyclic Voltammetry (CV)* dan *Electrochemical Impedance Spectroscopy (EIS)*
2. Menguji pengaruh pemberian beban kerja dengan berbagai variasi konsentrasi metanol terhadap kinerja MEA pada DMFC

1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat bermanfaat dalam memberikan informasi tentang pengaruh polianilin pada kualitas elektroda *fuel cell* dan mengetahui kinerja MEA pada DMFC. Selain itu, diharapkan juga dapat memberikan sebuah kontribusi terhadap upaya pengembangan teknologi *fuel cell*.

DAFTAR PUSTAKA

- Abrini, D., Ardhy, S. dan Putra, H. 2017. Uji Kekerasan pada Paduan Fe-50% Al dengan Penambahan Nikel Menggunakan Metode *Mechanical Alloying*. *Jurnal Teknik Mesin Institut Teknologi Padang*. 7(1) : 45-49.
- Albo, J., Guerra, M. A., Castano, P. and Irabien, A. 2015. Towards the Electrochemical Conversion of Carbon Dioxide into Methanol. *Green Chemistry*. 17(4) : 2304-2324.
- Alessandro, H. A., Videla, M., Osmieri, L., Esfahani, R. A. M., Zeng, J., Francia, C. and Specchia, S. 2015. The Use of C-MnO₂ as Hybrid Precursor Support for a Pt/C-Mn_xO_{1+x} Catalyst with Enhanced Activity for the Methanol Oxidation Reaction (MOR). *Catalysts*. 5(3) : 1399-1416.
- Amin, R. S., Hameed Abdel, R. M., El-Khatib, K. M. and Youssef, M. E. 2014. Electrocatalytic Activity of Nanostructured Ni and Pd-Ni on Vulcan XC-72R Carbon Black for Methanol Oxidation in Alkaline Medium. *International Journal of Hydrogen Energy*. 39(5) : 1-14.
- Apriani, R., Faryuni, I. D. dan Wahyuni, D. 2013. Pengaruh Konsentrasi Aktivator Kalium Hidroksida (KOH) terhadap Kualitas Karbon Aktif Kulit Durian sebagai Adsorben Logam Fe pada Air Gambut. *Prisma Fisika*. 1(1) : 82-86.
- Baroutaji, A., Carton, J. G. and Olabi, A. G. 2016. Materials in PEM Fuel Cells. *Materials Science and Materials Engineering*. 1(1) : 1-11.
- Bojang, A. A. dan Wu, H. S. 2020. Characterization of Electrode Performance in Enzymatic Biofuel Cells Using Cyclic Voltammetry and Electrochemical Impedance Spectroscopy. *Catalysts*. 10(7) : 1-20.
- Bredar, A. R. C., Chown, A. L., Burton, A. R. and Farnum, B. H. 2020. Electrochemical Impedance Spectroscopy of Metal Oxide Electrodes for Energy Application. *Applied Energy Materials*. 3(1) : 66-98.
- Dessie, Y., Tadesse, S. and Adimasu, Y. 2022. Improving The Performance of Graphite Anode in a Microbial Fuel Cell Via PANI Encapsulated α -MnO₂ Composite Modification for Efficient Power Generation and Methyl Red Removal. *Chemical Engineering Journal AdvanceS*. 10(1) : 1-13.
- Elgrishi, N., Rountree, K. J., McCarthy, D., Rountree, E. S., Eisenhart, T. T. and Dempsey, J. L. 2017. A Practical Beginner's Guide to Cyclic Voltammetry. *Journal of Chemical Education*. 95(2) : 197-206.
- Escudero-Cid, R., Montiel, L., Sotomayor, B., Loureiro, B., Fatas, E. and Ocon, P. 2015. Evaluation of Polyaniline-Nafion Composite Membranes for Direct Methanol Fuel Cells Durability Tests. *International Journal of Hydrogen Energy*. 40(26) : 8182-8192.

- Fitriani, L. 2012. *Studi Reaksi Reduksi CO₂ Dengan Metode Elektrokimia Menggunakan Elektroda Cu*. Kimia, Universitas Indonesia, Depok.
- Guo, F., Yang, X., Jiang, H., Zhu, Y. and Li, C. 2020. An Ultrasonic Atomization Spray Strategy for Constructing Hydrophobic and Hydrophilic Synergistic Surfaces as Gas Diffusion Layers for Proton Exchange Membrane Fuel Cells. *Journal of Power Sources*. 451(1) : 1-6.
- Haryati, S., Yulhan, A. T. dan Asparia, L. 2017. Pembuatan Karbon Aktif Dari Kulit Kayu Gelam (*Melaleuca leucadendron*) yang Berasal dari Tanjung Api-Api Sumatera Selatan. *Jurnal Teknik Kimia*. 2(23) : 77-86.
- Heme, H. N., Alif, M. S. N., Rahat, S. M. and Shuci, S. B. 2021. Recent Progress in Polyaniline Composites for High Capacity Energy Storage: A Review. *Journal of Energy Storage*. 42(1) : 1-25.
- Holton, O. T. dan Stevenson, J. W. 2013. The Role of Platinum in Proton Exchange Membrane Fuel Cells. *Platinum Metals Rev.* 57(4) : 259-271.
- Huang, J. 2006. Syntheses and Applications of Conducting Polymer Polyaniline Nanofibers *Pure Appl. Chem.* 78(1), 15-27.
- Huang, Y. F., Chang, C. S. and Lin, C. W. 2012. An Effective Layout of Polyaniline Nanofibers Incorporated in Membrane-Electrode Assembly as Methanol Transport Regulator for Direct Methanol Fuel Cells. *International Journal of Hydrogen Energy*. 37(16) : 11975-11983.
- Julian, J. dan Santoso E. 2016. Pengaruh Komposisi PVA/Kitosan terhadap Perilaku Membran Komposit PVA/Kitosan/Grafin Oksida yang Terikat Silang Asam Sulfat. *Jurnal Sains dan Seni ITS*. 5(1) : 37.
- Jung H. dan Kim, J. W. 2012. Role of the Glass Transition Temperature of Nafion 117 Membrane in the Preparation of the Membrane Electrode Assembly in a Direct Methanol Fuel Cell (DMFC). *International Journal of Hydrogen Energy*. 37(17) : 12580-12585.
- Kahraman, H. dan Orhan, M. 2016. Flow Field Bipolar Plates in a Proton Exchange Membrane Fuel Cell : Analysis & Modeling. *Energy Conversion and Management*. 133(1) : 364-384.
- Karim, N. A., Kamarudin, S. K. and Loh, K. S. 2017. Performance of a Novel Non-Platinum Cathode Catalyst for Direct Methanol Fuel Cells. *Energy Conversion and Management*. 145(1) : 293-307.
- Karimi, S., Fraser, N., Roberts, B. and Foulkes, F. R. 2012. A Review of Metallic Bipolar Plates for Proton Exchange Membrane Fuel Cells : Materials and Fabrication Methods. *Advances in Materials Science and Engineering*. 1(1) : 1-23.

- Kashyap, D. *et al.* 2014. Application of Electrochemical Impedance Spectroscopy in Bio-Fuel Cell Characterization : A Review. *International Journal of Hydrogen Energy*. 39(35) : 20159-20170.
- Kaur, A., Kaur. G., Singh, P. P. *and* Kaushal, S. 2021. Supported Bimetallic Nanoparticles as Anode Catalysts for Direct Methanol Fuel Sells: A Review. *International Journal of Hydrogen Energy*. 46(29) : 15820-15849.
- Kuang, Q., Xie, S. Y., Jiang, Z. Y., Zhang, X. H., Xie, Z. X., Huang, R. B. *and* Zheng, L. S. 2004. Low Temperature Solvothermal Synthesis of Crumpled Carbon Sheets. *Carbon*. 42(1) : 1737-1741.
- Kumar, S. S. Ramakrishna, S. U. B., Devi B. R. *and* Himabindu, V. 2018. Phosphorus-doped Graphene Supported Palladium (Pd/Pd) Electrocatalyst for The Hydrogen Evolution Reaction in PEM Water Electrolysis. *International Journal of Green Energy*. 15(10) : 558-567.
- Kurniawati, N. dan Surawan, T. 2020. Superkapasitor dari Karbon Aktif Limbah Daun Teh Sebagai Bahan Elektroda. *Jurnal Teknologi* . 8(1) : 76-83.
- Lamoglia, M. S., Goncalves, P. H., Pontes, A. M. P., Serrano, L. B., Silva, G. *and* Silva, A. A. A., P. 2022. Effect of Process Control Agents on Fe-15at.%Nb Powder During Mechanical Alloying. *Materials Research*, 25(1) : 1-10.
- Laos, L. E. dan Selan, A. 2016. Pemanfaatan Kulit Singkong Sebagai Bahan Baku Karbon Aktif. *Jurnal Ilmu Pendidikan Fisika*. 1(1) : 32-36.
- Ma'ruf, H. M. dan Widiharsa, F. A. 2016. *Fuel Cell* Sebagai Sumber Energi Listrik Alternatif Pengisi Baterai Dengan Pengendali Panas. *TRANSMISI*. 12 (1) : 45-54.
- Maulana, M. I., Syahbanu, I. dan Harlia. 2017. Sintesis dan Karakterisasi Material Konduktif Film Komposit Polipirol (PPy)/Selulosa Bakteri. *Jurna Kimia Khatulistiwa*. 6(3) : 1-18.
- Maulinda, A. L., Nasrul Z.A. dan Sari, D. N. 2015. Pemanfaatan Kulit Singkong Sebagai Bahan Baku Karbon. *Jurnal Teknologi Kimia Unimal*. 4(2) : 11-19.
- 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.
- Majlan, E.H., Rohendi, D., Daud, W.R.W., Husaini, T. *and* Haquea, M.A. 2018. Electrode for Proton Exchange Membrane Fuel Cells : A Review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 89 (1) : 117-134.
- Misbachudin dan Nur, R. 2020. Pengaruh Persentase Campuran Kulit Kayu Gelam (*Melaleuca Cajuputi*) dan Cangkang Karet (*Hevea Brasiliensi*) Terhadap Karakteristik Pembakaran Briket. *TURBO*. 9(1) : 25-30.

- Muhriz, M., Subagio, A. dan Pardoyo. 2011. Pembuatan Zeolit Nanopartikel dengan *Metode High Energy Milling (Zeolite Nanoparticle Fabrication Using High Energy Milling Method)*. *Jurnal Sains dan Matematika*. 19(1) : 10-17.
- Neikov, O. D. 2019. *Handbook of Non-Ferrous Metal Powders*. Elsevier, Amsterdam, Netherlands.
- Naik, K. M., Higuchi, E. and Inoue, H. 2020. Two-Dimensional Oxygen-Deficient TiO₂ Nanosheets-Supported Pt Nanoparticles as Durable Catalyst for Oxygen Reduction Reaction in Proton Exchange Membrane Fuel Cells. *Journal of Power Sources*. 455(1) : 1-11.
- Nematollahi, D., Ariapad, A. and Rafiee, M. 2007. Electrochemical Nitration of Catechols: Kinetic Study by Digital Simulation of Cyclic Voltammograms. *Journal of Electroanalytical Chemistry* 602(1) : 37–42.
- Nisa, K., Aryanto, A., Sudiro, T., Sebayang, P. dan Aji, M. P. 2016. Karakterisasi Struktur *Coating* Fe-25Al yang Difabrikasi Dengan Metode Paduan Mekanik. *Metalurgi*. 2(1) : 95-102.
- Othman, M. H. D., Ismail, A. F., and Mustafa, A. 2010. Recent Development of Polymer Electrolyte Membranes for Direct Methanol Fuel Cell Application - A Review. *Malaysian Polymer Journal*. 5(2) : 1-36.
- Ong, B. C., Kamarudin, S. K., Masdar, M. S. and Hasran, U. A. 2016. Applications of Graphene Nano-Sheets as Anode Diffusion Layers in Passive Direct Methanol Fuel Cells (DMFC). *International Journal Of Hydrogen Energy*. 42(14) : 9252-9261.
- Ozden, A., Ercelik, M., Ozdemir, Y., Devrim, Y. and Colpan, C. O. 2017. Enhancement of Direct Methanol Fuel Cell Performance Through The Inclusion of Zirconium Phosphate. *International Journal of Hydrogen Energy* 42(33) : 21501-21517.
- Pandiyan, S., Elayaperumal, A., Rajalakshmi, N., Dhathathreyan, K. S. and Venkateshwaran, N. 2013. Design and Analysis of a Proton Exchange Membrane Fuel Cells (PEMFC). *Renewable Energy*. 49(1) : 161-165.
- Patel, P. P. *et al.*, 2015. High Performance and Durable Nanostructured TiN Supported Pt₅₀-Ru₅₀ Anode Catalyst for Direct Methanol Fuel Cell (DMFC). *Journal of Power Sources*. 293(1) : 437-446.
- Pattanayak, P., Pramanik, N., Kumar, P. and Kundu, P. P. 2017. Fabrication of Cost-Effective Non-Noble Metal Supported on Conducting Polymer Composite Such as Copper/Polypyrrole Graphene Oxide (Cu₂O/PPyeGO) as an Anode Catalyst for Methanol Oxidation in DMFC. *International Journal of Hydrogen Energy*. 43(25) : 437-446.
- Pérez-Rodríguez, S., Pastor, E. and Lázaro, M. J. 2018. Electrochemical Behavior

- of The Carbon Black Vulcan XC-72R: Influence of The Surface Chemistry. *International Journal of Hydrogen Energy*. 43(16) : 7911-7922.
- Pramono, A. A., Syamsuwida, D. dan Aminah, A. 2016. Variasi Produksi Benih Gelam (*Melaleuca leucadendron*) Pada Beberapa Tegakan di Sumatera Selatan. *Prosiding Seminar Nasional Masyarakat Biodiversitas Indonesia*. 2(2) : 143-148.
- Purwanto, W. W., Slamet, Rifki, M. dan Hayatina, I. 2008. Pengembangan Prototipe Direct Methanol Fuel Cell (DMFC) dan Pengaruh Kandungan Nafion Membrane Electrode Assembly (MEA). *Jurnal Teknik Kimia Indonesia*. 7(2) : 792-797.
- Putri, A. W. dan Maharani, D. K. 2020. Sintesis dan Karakterisasi SiO₂ Untuk Aplikasi Sifat Hidrofobik Pada Kaca. *Journal of Chemistry*. 9(1) : 91-96.
- Putri, R. K. P. dan Putra, N. M. D. 2014. Karakteristik Struktur, Optik, dan Listrik Film Tipis Polianilin (PANI) Doping HCl yang ditumbuhkan Dengan Metode Spin Coating. *Unnes Physics Journal*. 3(1) : 14-21.
- Rachman, H. A. A., Aritonang, H. F. dan Koleangen, H. S. J. 2017. Sintesis dan Karakterisasi Nanopartikel Platina (Pt) Dari Larutan Kalium Tetrakloroplatinat (II) (K₂PtCl₄). *Chemistry Progress*. 10(2) : 50-55.
- Rahman, T., Fadhlulloh, M. A., Nandiyanto, A. B. D. dan Mudzakir, A. 2015. Review : Sintesis Karbon Nanopartikel. *Jurnal Integrasi Proses*. 5(3) : 120-131.
- Rampe, M. J. 2015. Konversi Arang Tempurung Kelapa Menjadi Elektroda Karbon. *Chemistry Progress*. 8(2) : 61-71.
- Ramezani, M. dan Neitzert, T. 2012. Mechanical Milling of Aluminum Powder Using Planetary Ball Milling Process. *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*. 55(2) : 790-798.
- Riniati dan Chamidy, H. N. 2013. Pembuatan Membran Kitosan Sulfonat Untuk Aplikasi Direct Ethanol Fuel Cell. *Prosiding Industrial Research Workshop and National Seminar*. 4(1) : 286-289.
- Rohendi, D., Majlan, E. H., Mohamad, A. B., Daud, W. R. W., Kadhum, A. A. H. and Shyuan, L. K. 2013. Characterization of Electrodes and Performance Tests on MEAs With Varying Platinum Content and Under Various Operational Conditions, *International Journal of Hydrogen Energy*. 38(22) : 9431-9437.
- 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.

- Sa'diyah, K., Suharti, P. H., Hendrawati, N., Pratamasari, F. A. dan Rahayu, O. M. 2021. Pemanfaatan Serbuk Gergaji Kayu Sebagai Karbon Aktif Melalui Proses Pirolisis dan Aktivasi Kimia. *Chemical Engineering Research Articles*, 4(2) : 91-99.
- Safitri, I. A., Rudiyanto, B., Nursalim, A. dan Hariono, B. 2016. Uji Kinerja *Smart Grid Fuel Cell* Tipe *Proton Exchange Membrane* (PEM) Dengan Penambahan Hidrogen. *Jurnal Ilmiah INOVASI*. 1(1) : 11-16.
- Safrijal, M., Prasutiyon, H. dan Prayogi, U. 2021. Pengembangan Fuel Cell Sebagai Teknologi Penghasil Energi Ramah Lingkungan. *Jurnal Teknologi Maritim*. 4(1) : 1-6.
- Samsurizal, Putera, R. P. dan Christiono. 2018. Studi Sifat Transfer Hidrofobik Dari Bahan Isolator Polimer *Silicone Rubber* Akibat Pengaruh Cuaca Didaerah Tropis Perkotaan. *Jurnal Ilmiah Setrum*. 7(2) : 288-295.
- Sapkota, P., Boyer, C., Dutta, R., Cazorla, C. and Zinsou, K. F. A. 2019. Planar Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cells: Powering Portable Devices from Hydrogen. *Sustainable Energy & Fuels*. 2(1) : 1-30.
- Saputry, A. P., Lestariningsih, T. dan Astuti, Y. 2019. Pengaruh Rasio LiB:TiO₂ dari Lembaran Polimer Elektrolit Sebagai Pemisah Terhadap Kinerja Elektrokimia Baterai Lithium-Ion Berbasis LTO. *Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi*, 22(4) : 136-142.
- Setyaningsih, L. W. N., Rizkiyaningrum, U. M. dan Andi, R. 2017. Pengaruh Konsentrasi Katalis dan Reusability Katalis Pada Sintesis Triasetin Dengan Katalisator Lewatit. *TEKNOIN*. 23(1) : 56-62.
- Song, W., Shao, Z., Yi, B., Lin, J. and Liu, N. 2014. Effect of Polytetrafluoroethylene Distribution in The Gas Diffusion Layer on Water Flooding in Proton Exchange Membrane Fuel Cells. *Chinese Journal of Catalysis*. 35(4) : 468-473.
- Sugandi, J. N., Suwandi dan Rosi, M. 2018. Rancang Bangun Potensiostat Berbasis Mikrokontroler. *e-Proceeding of Engineering*. 5(3) : 5973-5880.
- Suhendarwati, L., Suharto, B. dan Susanawati, L. D. 2014. Pengaruh Konsentrasi Larutan Kalium Hidroksida pada Abu Dasar Ampas Tebu Teraktivasi. *Jurnal Sumberdaya Alam & Lingkungan*. 1(1) : 19-25.
- 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) : 82-93.
- Surianty, Akhiruddin dan Ambarsari, L. 2013. Studi Elektrokimia Polianialin Komposit Elektroda Pasta Karbon. *Jurnal Biofisika*. 9(2) : 45-53.

- Syarif, N. dan Prasagi, M. 2016. Preparation of Carbon Sheets from Gelam Wood Bark and its Electrochemical Study. *Carbon Science and Technology*. 8(4) : 35-42.
- Tumimomor, F., Maddu, A. dan Pari, G. 2017. Pemanfaatan Karbon Aktif dari Bambu Sebagai Elektroda Superkapasitor. *Jurnal Ilmiah Sains*. 17(1) : 73-79.
- Vietanti, F., Susanti, D., Purwaningsih, H. dan Kurniawan, F. 2019. Pengaruh Reduktor Zink pada Sintesis Graphene terhadap Performa PdAu/Graphene sebagai Material Elektrokatalis DMFC. *Seminar Nasional Sains dan Teknologi Terapan*. 7(1) : 379-384.
- Wahyuni, W. T., Darusman, L. K. dan Herliani, D. 2017. Fabrication and Analytical Performance Evaluation of Carbon Paste Electrode Using Cyclic Voltammetry. *Analytical Environmental Chemistry*. 2(2) : 12-25.
- Wellia, D. V., Alvionita, F. dan Arief, S. 2020. Sintesis Permukaan Kaca Hidrofobik Melalui Kombinasi TiO₂/Asam Stearat Untuk Aplikasi *Material Self-Cleaning*. *Journal of Research and Education Chemistry*. 2(1) : 12-22.
- Yuan, Y. dan Lee, T. R. 2013. *Contact Angle and Wetting Properties*. Bracco, G., Holst, B. (eds.), Springer, Berlin.
- Yulianti, D. H., Rohendi, D., Syarif, N. and Rachmat, A. 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) : 139-142.
- Yurko, Y. dan Elbaz, L. 2021. The Effect of Membrane Electrode Assembly Methods on The Performance in Fuel Cells. *Electrochimica Acta*. 389(1) : 1-6.
- Yusof, M. S. M. *et al.* 2018. Effect of Pt–Pd/C Coupled Catalyst Loading and Polybenzimidazole Ionomer Binder on Oxygen Reduction Reaction in High-Temperature PEMFC. *International Journal of Hydrogen Energy* 44(37) : 20760-20769.
- Zhao, X., Tian, H., Zhu, M., Tian, K., Wang, J. J., Kang, F. and Outlaw, R. A. 2009. Carbon Sheets as The Electrode Material in Supercapacitors. *Journal of Power Sources* 194(2) : 1208–1212.
- Zhiani, M., Rezaei, B. and Jailili, J. 2010. Methanol Electro-Oxidation on Pt/C Modified by Polyaniline Nanofibers for DMFC Applications. *International Journal of Hydrogen Energy*. 35(17) : 9298-9305.
- Zhang, D., Du, J., Quinson, J. Arenz, M. 2022. On the Electro-Oxidation of Small Organic Molecules: Towards a Fuel Cell Catalyst Testing Platform Based on Gas Diffusion Electrode Setups. *Journal of Power Sources*. 522(1) : 1-9.