

**PREPARASI *MEMBRANE ELECTRODE ASSEMBLY* (MEA) DENGAN
ANODA Pt/C DAN KATODA SnO₂-TiO₂/C BINCHOTAN SEBAGAI
ELEKTROKATALIS DAN APLIKASINYA PADA *DIRECT METHANOL FUEL
CELL* (DMFC)**

SKRIPSI

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



Oleh :

ADE INDRIYANI

08031282126041

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

2025

HALAMAN PENGESAHAN

**PREPARASI MEMBRANE ELECTRODE ASSEMBLY (MEA) DENGAN
ANODA Pt/C DAN KATODA SnO₂-TiO₂/C BINCHOTAN SEBAGAI
ELEKTROKATALIS DAN APLIKASINYA PADA *DIRECT METHANOL FUEL
CELL (DMFC)***

SKRIPSI

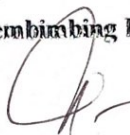
Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Bidang Sarjana Sains Bidang Studi Kimia

Oleh :

Ade Indriyani
08031282126041

Indralaya, 13 Maret 2025

Pembimbing I



Dr. Nirwan Syarif, M.Si
NIP. 197016011999031003

Mengetahui,

Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



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

HALAMAN PERSETUJUAN

Karya tulis ilmiah berupa skripsi ini dengan judul “Preparasi *Membrane Electrode Assembly* (MEA) dengan Anoda Pt/C dan Katoda SnO₂-TiO₂ sebagai Elektrokatalis dan Aplikasinya pada *Direct Methanol Fuel Cell* (DMFC)” telah dipertahankan di hadapan Tim Penguji Sidang Sarjana Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Sriwijaya pada tanggal 06 Maret 2025 dan telah diperbaiki, diperiksa, serta disetujui sesuai masukan yang telah diberikan.

Indralaya, 13 Maret 2025

Ketua :

1. **Prof. Dr. Hasanudin, M.Si**
NIP. 197205151997021003

()

Anggota :

2. **Dr. Nirwan Syarif, M.Si**
NIP. 197010011999031003

()

3. **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 di bawah ini :

Nama Mahasiswa : Ade Indriyani
NIM : 08031282126041
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, 13 Maret 2025



Yang menyatakan,

Ade Indriyani

NIM.08031282126041

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

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

Nama Mahasiswa : Ade Indriyani
NIM : 08031282126041
Fakultas/Jurusan : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam/Kimia
Jenis 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: “Preparasi *Membrane Electrode Assembly* (MEA) dengan Anoda Pt/C dan Katoda SnO₂-TiO₂/C Binchotan sebagai Elektrokatalis dan Aplikasinya pada *Direct Methanol Fuel Cell* (DMFC)”. 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, 13 Maret 2025

Yang menyatakan,



Ade Indriyani

NIM.08031282126041

Halaman Persembahan

*Teruntuk Ayah dan Ibu yang paling kusayangi yang telah mengorbankan segalanya
untuk keberhasilanku,
Kakakku tercinta,
Serta sahabat-sahabatku yang tidak pernah meninggalkanku
Skripsi ini aku persembahkan untuk kalian*

*“Start now, wherever you are. Face the fear, the pain, and the doubt. Even if your
hands are shaking and your voice is trembling, start. Don't stop, make the most of
what you have. Most importantly, start”*

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Allah SWT atas segala rahmat dan kasih sayang-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan skripsi yang berjudul “Preparasi *Membrane Electrode Assembly* (MEA) Dengan Anoda Pt/C dan Katoda SnO₂-TiO₂/C Binchotan Sebagai Elektrokatalis Dan Aplikasinya Pada *Direct Methanol Fuel Cell* (DMFC)” sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana sains bidang kimia. Penulisan skripsi ini tidak luput dari bantuan, bimbingan, serta doa dari pihak yang terlihat, oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terimakasih kepada :

1. Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat-Nya, yang Maha Mengetahui proses perjalanan penulis hingga sampai di titik ini, serta menjadi tempat paling aman bagi penulis untuk berkeluh kesah.
2. Bapak Prof. Hermansyah, S.Si, M.Si, Ph.D selaku Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam.
3. Ibu Prof. Dr. Muharni, M.Si selaku ketua jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, beserta karyawan dan dosen yang telah banyak membagikan ilmu kepada penulis.
4. Bapak Dr. Nirwan Syarif, M.Si selaku dosen pembimbing tugas akhir dan dosen pembimbing akademik penulis yang telah membantu penulis semasa perkuliahan. Terimakasih atas bimbingan, arahan, kesabaran, serta waktu yang telah diluangkan kepada penulis.
5. Bapak Prof. Drs. Dedi Rohendi, Ph.D selaku ketua Laboratorium Pusat Unggulan Riset *Fuel Cell* dan Hidrogen Universitas Sriwijaya.
6. Teruntuk ayah tercinta, Nirmansah (Alm) meski telah tiada, doa dan cintamu selalu menyertai setiap langkahku. Meskipun pada akhirnya harus melewati perjalanan ini tanpa ditemani beliau. Terimakasih selalu mengajarkan untuk tetap kuat dan sabar. Dengan rasa hormat dan kerinduan yang mendalam, skripsi ini adalah hadiah kecil untukmu, sebagai tanda terima kasih atas segala yang telah engkau berikan.

7. Secara khusus untuk ibu tercinta, Sutrimah, wanita hebat yang menjadi tulang punggung keluarga sekaligus menjalankan dua peran orang tua untuk anak-anaknya. Meski tanpa gelar sarjana, engkau telah memberikan pendidikan terbaik dengan cinta dan pengorbanan yang tak terhingga. Terimakasih sudah melahirkan, merawat dan membesarkan penulis dengan penuh kasih sayang dan selalu berjuang. Dengan rasa syukur yang mendalam, penulis mengucapkan terima kasih atas segala dukungan dalam bentuk materi, doa, dan kasih sayang yang tiada henti, yang telah mengantarkan penulis hingga saat ini.
8. Teruntuk saudari kandung penulis, tim terbaik penulis, Dwi Liliyani. Terimakasih telah memberikan dukungan, semangat, teguran, serta memberikan fasilitas terbaik kepada penulis selama masa perkuliahan.
9. Kepada seseorang yang namanya belum bisa penulis tuliskan dengan jelas namanya disini, namun sudah tertulis di *Lauhul Mahfudz* untukku. Terimakasih sudah menjadi salah satu sumber motivasi bagi penulis dalam menyelesaikan skripsi ini sebagai salah satu bentuk penulis untuk memantaskan diri. Meskipun saat ini penulis tidak tahu keberadaanmu entah di bumi bagian mana dan menggenggam tangan siapa. Seperti kata Bj Habibie “Kalau memang dia dilahirkan untuk saya, mau kamu jungkir balik pun saya yang dapat”.
10. Kepada Rizki Hamidah Daulay, bukan hanya teman sekamar dan rekan tim tugas akhir, tetapi juga sahabat yang selalu ada di setiap langkah dan mendukung penulis dalam segala situasi. Terima kasih atas dukungan, motivasi, dan kerjasamanya yang tak pernah padam dan terimakasih telah menerima dan menemani penulis sampai akhir, juga untuk kenangan yang tidak semuanya indah, namun tetap berarti bagi penulis. Kerjasama dan dukunganmu selama ini sangat berarti bagi penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.
11. Sahabat penulis di bangku perkuliahan yang selalu kebersamai penulis yaitu Mianita Sadin, Dera Okta Firanda, serta Tri Mulyanita Sarah. Mianita yang telah menjadi teman yang selalu ada dalam setiap perjalanan penulis, Dera, yang selalu memberikan bantuan dan dukungan kepada penulis, serta Sarah, terima kasih atas persahabatanmu yang tulus dan motivasi yang selalu di

berikan kepada penulis. Terimakasih telah menerima dan menemani penulis sampai akhir. Semoga di kemudian hari bisa bertemu kembali dengan cerita yang lebih baik.

12. Kost Hawa (Cindy, Rizki, dan Vina), terimakasih telah memberikan dukungan kepada penulis dalam penyelesaian skripsi ini.
13. Orang-orang terbaik di masa perkuliahan penulis, Aghni Hafizah Manuri, Tri Oktaviani, dan Winda Rahayu Agustina. Terimakasih atas dukungan, motivasi, dan selalu memberikan semangat kepada penulis.
14. Terima kasih kepada Jesika Agustina Manurung, sahabat yang selalu ada, bahkan ketika sedang tidak akur, terimakasih atas segala dukungan dan motivasi yang diberikan kepada penulis.
15. Admin jurusan kimia, Kak Iin dan Mbak Novi yang telah banyak membantu proses administrasi penyelesaian skripsi dan sidang.
16. Teman-teman Angkatan 2021 yang telah mewarnai kehidupan penulis selama perkuliahan.
17. Semua orang yang telah mendukung dan memberikan motivasi kepada penulis Ketika penulis merasa putus asa (teman SMP, teman SMA, dan teman media sosial).
18. Terakhir untuk diriku sendiri, Ade Indriyani, perempuan sederhana yang memiliki keinginan tinggi namun terkadang sulit untuk dimengerti, anak perempuan berusia 20 tahun yang keras kepala namun mudah menangis. Terimakasih untuk segala perjuangan, kesabaran dan ketekunan yang telah dilalui. Mari rayakan dirimu sendiri, walaupun sering putus asa atas apa yang diusahakan.

Penulis menyadari karya tulis ini masih banyak kekurangan dan jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu, saran dan kritik dari pembaca sangat diharapkan. Semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi kita semua.

Indralaya, 08 Maret 2025

Penulis

SUMMARY

PREPARATION OF *MEMBRANE ELECTRODE ASSEMBLY* (MEA) WITH Pt/C ANODE AND SnO₂-TiO₂/C BINCHOTAN CATHODE AS ELECTROCATALYST AND ITS APPLICATION IN DIRECT METHANOL FUEL CELL (DMFC)

Ade Indriyani. Supervised by Dr. Nirwan Syarif, M. Si

Department of Chemistry, Faculty of Mathematics and Natural Sciences, Sriwijaya
University

xviii + 77 Pages, 5 Tables, 25 Pictures, 6 Attachments

The increasing demand for energy and the limited fossil energy sources drive the Current research focuses on improving DMFC performance by developing alternative catalysts to platinum, such as SnO₂ supported by TiO₂ and carbon materials, in order to create more efficient and sustainable energy sources. A key component determining DMFC performance is the Membrane Electrode Assembly (MEA), which consists of an anode (where oxidation occurs), an electrolyte membrane (ion conductor), and a cathode (where reduction occurs).

The preparation of the MEA involves creating a Gas Diffusion Layer (GDL) and a catalyst layer. The GDL is made from a mixture of carbon, water, methanol, and PTFE, which is sintered at a temperature of 350°C. The catalyst layer is prepared using SnO₂-TiO₂ (compositions 70:30 and 30:70), which is then mixed with binchotan carbon and PTFE, applied to the GDL, dried, and sintered at the same temperature. The materials and performance of the MEA are tested using various methods, including particle size analysis, hydrophobicity tests, XRD, SEM, FTIR, and CV, which is used to calculate the Electrochemical Surface Area (ECSA). Additionally, MEA performance is evaluated with variations in methanol concentration (5-20%) and current load (0.1-0.6 A), analyzed through polarization curves (I-V and I-P).

The research show that binchotan carbon powder has non-uniform but stable characteristics. Characterization (FTIR, hydrophobicity, XRD, SEM) of the SnO₂-TiO₂/C catalyst layer (binchotan and vulcan) reveals differences in properties and structures. Additionally, the vulcan-based carbon catalyst yields the highest ECSA value of 7.280391 cm²/gram. The MEA testing results indicate that SnO₂-TiO₂/C vulcan 70:30 produces the highest voltage of 4.1 mV at a methanol concentration of 10%, while the highest power density of 2940 mW is achieved by MEA SnO₂-TiO₂/C vulcan 30:70 at a methanol concentration of 5%. Future research could explore variations in smaller SnO₂-TiO₂ compositions (e.g., 60:40, 50:50, 40:60) for optimizing DMFC performance.

Keywords : DMFC, MEA, Binchotan Carbon, SnO₂-TiO₂ Catalyst
Citation : 72 (2014-2024)

RINGKASAN
PREPARASI *MEMBRANE ELECTRODE ASSEMBLY* (MEA) DENGAN
ANODA Pt/C DAN KATODA SnO₂-TiO₂/C BINCHOTAN SEBAGAI
ELEKTROKATALIS DAN APLIKASINYA PADA *DIRECT METHANOL FUEL*
CELL (DMFC)

Ade Indriyani. Dibimbing oleh Dr. Nirwan Syarif, M. Si

Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas
Sriwijaya

xviii + 77 Halaman, 5 Tabel, 25 Gambar, 6 Lampiran

Meningkatnya kebutuhan energi dan terbatasnya sumber energi fosil mendorong pengembangan energi terbarukan, termasuk sel bahan bakar *Direct Methanol Fuel Cell* (DMFC). Penelitian saat ini berfokus pada peningkatan kinerja DMFC dengan mengembangkan katalis alternatif pengganti platinum, seperti SnO₂ yang didukung TiO₂ dan material karbon, demi menciptakan sumber energi yang lebih efisien dan berkelanjutan. Komponen kunci yang menentukan kinerja DMFC adalah *Membrane Electrode Assembly* (MEA), yang terdiri dari anoda (tempat terjadinya oksidasi), membran elektrolit (penghantar ion), dan katoda (tempat terjadinya reduksi).

Preparasi MEA meliputi dari pembuatan GDL dan lapis katalis, GDL terbuat dari campuran karbon, air, metanol, dan PTFE yang disintering pada suhu 350°C dan lapis katalis dibuat dengan SnO₂-TiO₂ (komposisi 70:30 dan 30:70) kemudian dicampurkan dengan karbon binchotan dan PTFE, dioleskan pada GDL, dikeringkan, dan disintering pada suhu yang sama. Material dan kinerja MEA diuji dengan berbagai metode (termasuk ukuran partikel, uji hidrofobisitas, XRD, SEM, FTIR, dan CV yang digunakan untuk menghitung luas permukaan aktif elektrokimia atau *Electrochemical Surface Area* (ECSA) dan pengujian kinerja MEA dengan variasi konsentrasi metanol (5-20%) dan beban arus (0,1-0,6 A) dianalisis melalui kurva polarisasi (I-V dan I-P).

Penelitian menunjukkan serbuk karbon binchotan memiliki karakteristik yang tidak seragam namun stabil. Karakterisasi (FTIR, hidrofobisitas, XRD, SEM) lapis katalis SnO₂-TiO₂/C (binchotan dan vulcan) memperlihatkan adanya perbedaan sifat dan struktur. Selain itu katalis berbasis karbon vulcan menghasilkan nilai ECSA tertinggi yaitu 7.280391 cm²/gram, dan hasil pengujian MEA menunjukkan SnO₂-TiO₂/C vulcan 70:30 menghasilkan tegangan tertinggi yaitu 4,1 mV pada persentase metanol 10%, dan densitas daya tertinggi yaitu 2940 mW didapatkan oleh MEA SnO₂-TiO₂/C vulcan 30:70 pada metanol 5%. Penelitian selanjutnya dapat mengeksplorasi variasi komposisi SnO₂-TiO₂ yang lebih kecil (misalnya 60:40, 50:50, 40:60) untuk optimasi kinerja DMFC.

Kata kunci : DMFC, MEA, Karbon Binchotan, Katalis SnO₂-TiO₂

Sitasi : 72 (2014-2024)

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN SAMPUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
HALAMAN PERSETUJUAN	iii
PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH	iv
HALAMAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS	v
HALAMAN PERSEMBAHAN	vi
KATA PENGANTAR.....	vii
SUMMARY	x
RINGKASAN	xi
DAFTAR ISI.....	xii
DAFTAR TABEL	xvi
DAFTAR GAMBAR	xvii
DAFTAR LAMPIRAN	xviii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	4
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Manfaat Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 <i>Fuel Cell</i>	5
2.2 Direct Methanol Fuel Cell (DMFC).....	5
2.3 Membrane Electrode Assembly (MEA).....	7
2.4 Elektroda	8
2.4.1 <i>Gas Diffusion Layer</i> (GDL).....	8

2.5	Karbon Binchotan	9
2.6	Metode Sol-Gel	10
2.7	Timah Dioksida (SnO ₂).....	11
2.8	Titanium Dioksida (TiO ₂).....	12
2.9	Karakterisasi dan Instrumen.....	13
2.9.1	<i>Scanning Electron Microscopy</i> (SEM)	13
2.9.2	<i>X-Ray Diffraction</i> (XRD).....	14
2.9.3	<i>Fourier Transform Infrared</i> (FTIR).....	14
2.9.4	<i>Cyclic Voltammetry</i> (CV).....	15
2.9.5	<i>Particle Size Analyzer</i> (PSA).....	15
BAB III METODOLOGI PENELITIAN		18
3.1	Waktu dan Tempat Penelitian.....	18
3.2	Alat dan Bahan	18
3.3	Prosedur Penelitian	18
3.3.1	Pembuatan Serbuk Karbon Binchotan	18
3.4	Karakterisasi Serbuk Karbon Binchotan.....	19
3.4.1	Karakterisasi <i>Particle Size Analyzer</i> (PSA).....	19
3.4.2	Pengujian <i>Fourier Transform Infrared Spectroscopy</i> (FTIR).....	19
3.5	Pembuatan <i>Gas diffusion Layer</i> (GDL)	19
3.5.1	Preparasi Serbuk Katalis SnO ₂ -TiO ₂	20
3.6	Pembuaan Lapis Katalis Katoda dan Anoda.....	20
3.6.1	Pembuatan Lapis Katalis Katoda SnO ₂ -TiO ₂ /C dengan Metode Kuas ..	20
3.6.2	Pembuatan Elektroda Anoda Pt/C dengan Metode Kuas.....	20
3.7	Karakterisasi Lapis Katalis SnO ₂ -TiO ₂ /C	21

3.7.1 Analisis hidrofobisitas permukaan Elektroda katoda dan Anoda.....	21
3.7.2 Karakterisasi <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD)	21
3.7.3 Karakterisasi <i>Scanning Electron Microscopy</i> (SEM)	21
3.7.4 Pengujian <i>Cyclic Voltammetry</i> (CV).....	22
3.8 Pembuatan dan Pengujian Kinerja MEA.....	22
3.8.1 Pembuatan <i>Membrane Electrode Assembly</i> (MEA)	22
3.8.3 Pengujian MEA pada DMFC	22
3.9 Analisis Data.....	22
BAB IV PEMBAHASAN.....	24
4.1 Preparasi <i>Gas Diffusion Layer</i> (GDL)	24
4.2 Karakterisasi Serbuk Karbon Binchotan	25
4.2.1 Karakterisasi <i>Particle Size Analyzer</i> (PSA) dan Zeta Potensial	25
4.2.2 Karakterisasi <i>Fourier Transform Infrared Spectroscopy</i> (FTIR).....	27
4.3 Pengujian Sifat Elektrokimia <i>Gas Diffusion Layer</i> (GDL).....	30
4.4 Karakterisasi Struktur Mikro <i>Gas Diffusion Layer</i> (GDL).....	31
4.5 Preparasi Lapis Katalis SnO ₂ -TiO ₂ /C Sebagai Katoda	32
4.5.1 Karakterisasi struktur mikro lapis katalis SnO ₂ -TiO ₂ /C	33
4.6 Preparasi Lapis Katalis Pt/C sebagai Anoda	34
4.6.1 Pengujian Sifat Elektrokimia Lapis Katalis Pt/C.....	35
4.7 Karakterisasi Lapis Katalis SnO ₂ -TiO ₂ /C	36
4.7.1 Uji Hidrofobisitas Lapis Katalis SnO ₂ -TiO ₂ /C	36
4.7.2 Analisis <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD).....	38
4.7.3 Analisis <i>Scanning Electron Microscopy</i> (SEM).....	39

4.7.4 Pengukuran Sifat Elektrokimia dengan Metode <i>Cyclic Voltammetry</i> (CV)	41
4.8 Uji Kinerja MEA pada DMFC	43
4.8.1 Pengukuran Nilai <i>Open Circuit Voltage</i> (OCV).....	43
4.8.2 Pengujian Kinerja MEA Terhadap Beban Bervariasi.....	45
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	51
5.1 Kesimpulan	51
5.2 Saran.....	52
DAFTAR PUSTAKA	53
LAMPIRAN.....	61
DAFTAR RIWAYAT HIDUP	78

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 1. Hasil karakteristik ukuran karbon binchotan	25
Tabel 2. Nilai ECSA GDL vulcan dan binchotan	31
Tabel 3. Nilai ECSA Pt/C binchotan dan vulcan	36
Tabel 4. Nilai ECSA Variasi Lapis Katalis SnO ₂ -TiO ₂ /C	42
Tabel 5. Nilai OCV MEA SnO ₂ -TiO ₂ /C dengan variasi konsentrasi metanol	44

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 1. Diagram Skema DMFC	6
Gambar 2. Skema Membrane Electrode Assembly (MEA)	7
Gambar 3. Karbon Binchotan	10
Gambar 4. Struktur Kristal SnO ₂	11
Gambar 5. Struktur Kristal TiO ₂	13
Gambar 6. Serbuk Karbon	24
Gambar 7. Gas Diffusion Layer	25
Gambar 8. Grafik ukuran partikel karbon binchotan	26
Gambar 9. Grafik pengukuran nilai zeta potensial	27
Gambar 10. Hasil pengujian FTIR serbuk karbon binchotan	28
Gambar 11. Hasil pengujian FTIR serbuk karbon vulcan.....	29
Gambar 12. Hasil Kurva Voltammogram Gas Diffusion Layer (GDL) karbon binchotan dan vulcan	30
Gambar 13. Hasil analisis struktur mikro GDL	32
Gambar 14. Serbuk katalis	33
Gambar 15. Hasil Struktur Mikro Lapis Katalis SnO ₂ -TiO ₂ /C	34
Gambar 16. Lapis Katalis Pt/C	35
Gambar 17. Kurva Voltammogram Anoda Pt/C Binchotan dan Vulcan	35
Gambar 18. Digital kontak antara air dan permukaan	37
Gambar 19. Hasil analisis XRD	39
Gambar 20. Hasil analisis SEM	40
Gambar 21. Hasil kurva voltammogram	42
Gambar 22. Grafik OCV MEA SnO ₂ -TiO ₂ /C	45
Gambar 23. Grafik hasil uji kinerja MEA SnO ₂ -TiO ₂ /C	46
Gambar 24. Grafik hubungan antara kerapatan arus dengan tegangan	48
Gambar 25. Grafik hubungan antara arus dengan densitas daya	49

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran 1. Skema Kerja	62
Lampiran 2. Perhitungan Komponen Elektroda	66
Lampiran 3. Perhitungan Nilai Lapis Katalis SnO ₂ -TiO ₂ /C	68
Lampiran 4. Perhitungan Nilai Kerapatan Arus	70
Lampiran 5. Perhitungan Nilai Densitas Daya.....	71
Lampiran 6. Gambar Alat, Bahan dan Hasil Penelitian	75

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Semakin banyak penduduk dan semakin tinggi standar hidup, permintaan akan energi juga semakin besar. Hingga saat ini, sebagian besar energi yang kita gunakan adalah berasal dari minyak bumi yang merupakan sebuah sumber daya yang tidak dapat diperbarui. Ketersediaan minyak bumi yang semakin menipis sehingga diperkirakan akan habis suatu saat nanti. Untuk mengatasi masalah keterbatasan minyak bumi ini, maka dilakukannya pengembangan sumber energi terbarukan seperti tenaga surya, angin, dan air, dengan cara mengembangkan energi terbarukan, sehingga kita dapat memastikan ketersediaan energi secara berkelanjutan untuk generasi mendatang (Gultom, 2018). Menghadapi masalah terbatasnya sumber energi konvensional, para ilmuwan berlomba-lomba mencari alternatif energi yang lebih bersih dan berkelanjutan. Sumber energi seperti matahari, biogas, air, dan angin telah dikembangkan sebagai alternatif yang menjanjikan karena tidak mencemari lingkungan. Salah satu contoh teknologi energi terbarukan yang menjanjikan adalah sel surya yang mampu mengubah sinar matahari menjadi listrik. Para ilmuwan tidak berhenti mengembangkan teknologi energi baru, salah satunya adalah inovasi terbaru dari sel bahan bakar (Gazali dkk, 2023).

Fuel cell merupakan pembangkit listrik yang bekerja dengan mengubah energi kimia menjadi energi listrik secara langsung. Proses perubahan energi ini terjadi melalui reaksi kimia yang disebut reaksi reduksi oksidasi. Ada beberapa jenis sel bahan bakar yang umumnya digunakan, seperti *Alkaline Fuel Cell* (AFC), *Phosphoric Acid Fuel Cell* (PAFC), *Molten Carbonate Fuel Cell* (MCFC), *Solid Oxide Fuel Cell* (SOFC), *Proton Exchange Membrane Fuel Cell* (PEMFC), dan *Direct Methanol Fuel Cell* (DMFC) (Muliawati dan Mirzayanti, 2021). DMFC merupakan alternatif yang lebih ramah lingkungan dibandingkan dengan bahan bakar fosil. DMFC juga termasuk kedalam salah satu sel bahan bakar yang efisien dan mudah untuk digunakan, DMFC merupakan sel bahan bakar yang bertenaga metanol, dan beroperasi pada suhu rendah diantara 40-120°C (Ayyubi dan Admaja, 2020). Struktur MEA merupakan kunci utama

untuk menentukan seberapa baik kinerja DMFC (Joghee *et al.*, 2015). *Membrane Electrode Assembly* (MEA) juga merupakan jantung dari sel bahan bakar yang terdiri dari tiga lapisan utama diantaranya anoda sebagai tempat terjadinya reaksi oksidasi, membran elektrolit sebagai penghantar ion, dan katoda sebagai tempat terjadinya reaksi reduksi (Wicaksono dkk, 2021).

Sampai saat ini, platinum rutenium bimetalik (PtRu) menunjukkan kinerja terbaik dalam meningkatkan efisiensi konversi energi pada DMFC (Osman *et al.*, 2023), meskipun platinum adalah katalis yang paling efektif untuk sel bahan bakar, biaya yang mahal dan ketersediaan yang terbatas membatasi penggunaannya dalam skala industri (Zhang *et al.*, 2016). Salah satu kelemahan utama platina (Pt) sebagai elektroda dalam sel bahan bakar adalah kerentanannya terhadap karbon monoksida (CO), yang dimana karbon monoksida sering ditemukan sebagai pengotor sehingga secara signifikan dapat mengurangi efisiensi Pt dalam mengoksidasi molekul bahan bakar. Hal ini disebabkan oleh kemampuan CO untuk meracuni permukaan Pt, sehingga menghalangi atau memperlambat reaksi elektrokimia yang diperlukan (Huang *et al.*, 2021). Dalam mengatasi masalah ini, berbagai penelitian telah dilakukan untuk mengembangkan katalis berbasis logam atau nanomaterial. Untuk menjadi alternatif katalis platinum, bahan baru berupa oksida logam yang memiliki sifat elektrokimia yang baik, struktur berpori untuk meningkatkan luas permukaan aktif, tahan terhadap lingkungan asam atau basa, serta biaya produksi yang kompetitif (Cavaliere *et al.*, 2015).

Salah satu alternatif untuk menggantikan katalis platinum yang dipertimbangkan adalah timah dioksida (SnO_2). SnO_2 merupakan material semikonduktor oksida yang memiliki sifat-sifat, seperti stabilitas termal dan kimia yang tinggi, resistivitas yang rendah, dan transparansi optik dalam rentang spektrum tampak (Rohadi dan Asnawi, 2021). Selain itu timah dioksida (SnO_2) merupakan bahan yang menarik untuk menggantikan platina (Pt) karena beberapa alasan. Salah satunya SnO_2 tidak mudah teracuni oleh karbon monoksida (CO), yang dimana hal ini sering menjadi masalah utama pada Pt. Selain itu, SnO_2 juga membantu mengubah bahan bakar seperti metanol dan etanol menjadi energi yang lebih efisien, terutama dalam *Direct Methanol Fuel Cell* (DMFC) (Dahl *et al.*, 2020).

Namun, penggunaan bahan berbasis SnO₂ sebagai katalis ini belum menghasilkan kinerja sel bahan bakar yang optimal dikarenakan SnO₂ memiliki konduktivitas elektronik yang lebih rendah. Oleh karena itu, meskipun ketahanan SnO₂ dalam siklus potensial sangat baik, tetapi sulit untuk mencapai kinerja elektrokimia yang memadai (Nakazato *et al.*, 2018), selain itu penelitian sebelumnya juga menunjukkan bahwa luas permukaan aktif katalitik pada elektroda berbasis SnO₂ yang dihasilkan masih rendah, hal ini kemungkinan disebabkan oleh penggunaan SnO₂ sebagai bahan pendukung tunggal (Nanda, 2022). Sehingga masih diperlukannya penelitian lebih lanjut untuk mengoptimalkan kinerja SnO₂ sebagai katalis yaitu dengan cara menggunakan elektrokatalis oksida biner. salah satu oksida yang digunakan untuk mendukung oksida lain dalam sistem oksida biner adalah TiO₂. Selain itu TiO₂ juga memiliki sifat hidrofobik yang sangat diperlukan dalam pengendalian air dalam stack *fuel cell*. Pengendalian ini diperlukan sehingga dapat mendongkrak kinerja *fuel cell*. TiO₂ juga memiliki ukuran nano sehingga seringkali dipilih sebagai matriks untuk mendistribusikan partikel logam berukuran nano (misalnya Pt, Pd, atau Au) hal ini karena sifatnya yang stabil. Stabilitas ini memungkinkan partikel logam terdispersi secara merata dan terhindar dari aglomerasi, sehingga meningkatkan kinerja katalitik material komposit (Sravani *et al.*, 2020).

Katalis juga perlu ditopang oleh bahan lain agar kinerjanya menjadi lebih baik. Bahan karbon sering dipilih karena bisa menghantarkan listrik dengan baik, memiliki luas permukaan yang besar, dan juga tahan terhadap asam maupun basa (Baruah and Deb, 2021). Karbon hitam vulcan XC-72R merupakan jenis karbon yang paling umum digunakan sebagai pendukung katalis berbasis platinum (Pt) dalam sel bahan bakar, dimana luas permukaan spesifik vulcan XC-72R ini berada disekitar 250 m²/g, yang dimana area ini dapat memberikan area kontak yang luas antara katalis dan reaktan, sehingga meningkatkan kinerja katalitik (Zamora *et al.*, 2015). Komponen konduktif pada GDL tidak hanya dapat dibuat dari karbon vulcan, tetapi juga dapat dibuat dari karbon binchotan. Kerapatan tinggi dan pori-pori kecil pada karbon binchotan memberikan kontribusi pada konduktivitas listrik yang baik. Selain itu, kekerasan dan

permukaan yang halus menjadikannya material yang menarik untuk aplikasi ini (Syarif, 2023), namun belum banyak penelitian yang membahas hal ini.

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana sifat elektrokimia dan struktur mikro GDL yang dibuat dari karbon binchotan?
2. Bagaimana karakter *catalyst layer* SnO₂-TiO₂/C binchotan pada *Membrane Electrode Assembly* (MEA)?
3. Bagaimana performa *fuel cell* yang meliputi parameter kinerja, yaitu *Open Circuit Voltage* (OCV) dan *Closed Circuit Voltage* (CCV) pada konsentrasi metanol bervariasi?

1.3 Tujuan Penelitian

1. Mengkarakterisasi GDL yang dibuat dari karbon binchotan meliputi sifat elektrokimia dan struktur mikro.
2. Mengkarakterisasi *catalyst layer* yang dibuat dari SnO₂-TiO₂/C binchotan pada *Membrane Electrode Assembly* (MEA), meliputi hidrofobitas, XRD, SEM, dan CV.
3. Mengukur kinerja *Membrane Electrode Assembly* (MEA) dengan katalis SnO₂-TiO₂/C binchotan terhadap *Direct Methanol Fuel Cell* (DMFC) dengan menggunakan konsentrasi metanol dan tegangan bervariasi (OCV, CCV).

1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat menghasilkan elektrokatalis berbasis karbon binchotan untuk memberikan alternatif pengganti katalis logam dan karbon yang lebih ekonomis dan diharapkan dapat menghasilkan kinerja yang lebih baik terhadap *Direct Methanol Fuel Cell* (DMFC).

DAFTAR PUSTAKA

- Aderyani, S., Flouda, P., Shah, S. A., Green, M. J., Lutkenhaus, J. L., & Ardebili, H. (2021). Simulation of cyclic voltammetry in structural supercapacitors with pseudocapacitance behavior. *Electrochimica Acta*, 390, 138822. <https://doi.org/10.1016/j.electacta.2021.138822>
- Adhiyanti, N., Rohendi, D., Syarif, N., & Rachmat, A. (2020). Preparation and Characterization of Ti-Co/C catalyst for PEMFC Cathode. *Indonesian Journal of Fundamental and Applied Chemistry*, 6(3), 109–114. <https://doi.org/10.24845/ijfac.v6.i3.109>
- Ahmed, A. A., Al Labadidi, M., Hamada, A. T. & Orhan, M. F. 2022. Design and Utilization of a Direct Methanol Fuel Cell. *Membranes (Basel)*. 12(12). 10.3390/membranes12121266.
- Ali, A., Chiang, Y. W. & Santos, R. M. 2022. X-Ray Diffraction Techniques for Mineral Characterization: A Review for Engineers of the Fundamentals, Applications, and Research Directions. *Minerals*. 12(2). 10.3390/min12020205.
- Alvar, E. N., Zhou, B. & Eichhorn, S. H. 2017. Composite-supported Pt catalyst and electrosprayed cathode catalyst layer for polymer electrolyte membrane fuel cell. *Int. J. Energy Res.* 41(11), 1626–1641. 10.1002/er.3746.
- Amalia, R. & Elvian Gayuh Prasetya, H. 2023. Membran Elektrolit Polimer Kitosan-Polyvinil Alkohol pada Direct Methanol Fuel Cell. *J. Res. Technol.* 8, 313–321. 10.55732/jrt.v8i2.678.
- Andriani, Y., Handoyo, E., Chairuna, A., & Widiyanto, G. (2022). Pengembangan Metoda Eksplorasi Geokimia Merkuri Arsenik Dan H₂S Di Daerah Prospek Geothermal Dan Uji Validasinya. *Lembaran Publikasi Minyak Dan Gas Bumi*, 56(2), 111–122. <https://doi.org/10.29017/lpmgb.56.2.1175>
- Arini, T., Lalasari, L. H., Setiawan, I., Andriyah, L., Natasha, N. C., Yunita, F. E. dan Suharyanto. 2022. Struktur Kristal Dan Morfologi Permukaan – Sintesis SnO₂ Menggunakan Metode Sol-Gel. *Jurnal Rekayasa Mesin*. 13(2), 427–433. 10.21776/jrm.v13i2.1048.
- Athanasaki, G., Chauhan, N., Ahmad, R. & Kannan, A. M. 2021. Accelerated stress testing of PUREBLACK carbon-based gas diffusion layers with pore forming agent for proton exchange membrane fuel cells. *Int. J. Hydrogen Energy*. 46(62), 31754–31763. 10.1016/j.ijhydene.2021.07.052.
- Ayyubi, S. N. and Admaja, L. 2020. Pengaruh Variasi Konsentrasi Montmorillonit Terhadap Sifat dan Kinerja Membran Kitosan/PVA/MMT Untuk Aplikasi DMFC. *Walisongo Journal of Chemistry*. 3(1), 1-9. 10.21580/wjc.v3i1.6018.

- Baruah, B. and Deb, P. 2021. Performance and application of carbon-based electrocatalysts in direct methanol fuel cell. *Materials Advances*. 2(16), 5344–5364. 10.1039/d1ma00503k.
- Cavaliere, S., Jiménez-Morales, I., Ercolano, G., Savych, I., Jones, D., & Rozière, J. (2015). Highly Stable PEMFC Electrodes Based on Electrospun Antimony-Doped SnO₂. *Chem Electro Chem*, 2(12), 1966–1973. <https://doi.org/10.1002/celec.201500330>
- Chen, X., Li, T., Shen, J. & Hu, Z. 2017. From structures, packaging to application: A system-level review for micro direct methanol fuel cell. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 80, 669–678. 10.1016/j.rser.2017.05.272.
- Chia, C. H., Joseph, S. D., Rawal, A., Linser, R., Hook, J. M. and Munroe, P. 2014. Microstructural characterization of white charcoal. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis journal*. 109, 215–221. 10.1016/j.jaap.2014.06.009.
- Cojocaru, B., Avram, D., Kessler, V., Parvulescu, V., Seisenbaeva, G. and Tiseanu, C. 2017. Nanoscale insights into doping behavior, particle size and surface effects in trivalent metal doped. *Sci. Rep.* 7(1), 4–12. 10.1038/s41598-017-09026-2.
- Didik, L. A. 2020. PENENTUAN UKURAN BUTIR KRISTAL CuCr_{0,98}Ni_{0,02}O₂ DENGAN MENGGUNAKAN X-RAY DIFRACTION (XRD) DAN SCANNING ELECTRON MICROSCOPE (SEM). *Indones. Phys. Rev.* 3(1), 6–14. 10.29303/ipr.v3i1.37.
- Dahl, P. I., Barnett, A. O., Monterrubio, F. A., & Colmenares, L. C. 2020. The use of tin oxide in fuel cells. *Elsevier*. 379-410
- Dutta, K. 2020. *Direct Methanol Fuel Cell Technology*. Elsevier
- Fan, L., Tu, Z. & Chan, S. H. 2021. Recent development of hydrogen and fuel cell technologies: A review. *Energy Reports*. 7, 8421–8446. 1016/j.egy.2021.08.003.10.
- Faro, M. L. and Zignani. S. C. 2024. *Polymer Electrode-Based Electrochemical Devices*. Elsevier
- Fathirad, F., Mostafavi, A. & Afzali, D. 2017. Bimetallic Pd–Mo nanoalloys supported on Vulcan XC-72R carbon as anode catalysts for direct alcohol fuel cell. *Int. J. Hydrogen Energy*. 42(5), 3215–3221.10.1016/j.ijhydene.2016.09.138.
- Gao, S., Zhang, G., Wang, Y., Han, X., Huang, Y., & Liu, P. (2021). MOFs derived magnetic porous carbon microspheres constructed by core-shell Ni@C with high-performance microwave absorption. *Journal of Materials Science and Technology*, 88, 56–65. <https://doi.org/10.1016/j.jmst.2021.02.011>
- Gatea, H. A. (2021). Impact of Sintering Temperature on Crystallite size and Optical Properties of SnO₂ Nanoparticles. *Journal of Physics: Conference Series*, 1829(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1829/1/012030>

- Gazali, M. H. A., Zaeni, A., Susilowati, P. E. and Efendi, R. 2023. Potensi Air Lindi dari TPA Puuwatu sebagai Sumber Energi Alternatif Berbasis Teknologi Microbial Fuel Cell. *Jurnal Mekanova*. 9(2), 140–148.
- Guan, L., Balakrishnan, P., Liu, H., Zhang, W., Deng, Y., Su, H., Xing, L., Penga, Z. and Xu, Q. 2022. A Tortuosity Engineered Dual-Microporous Layer Electrode Including Graphene Aerogel Enabling Largely Improved Direct Methanol Fuel Cell Performance with High-Concentration Fuel. *Energies*. 15(24). 10.3390/en15249388.
- Gultom, S. O. 2018. Mikroalga: Sumber Energi Terbarukan Masa Depan. *Jurnal Kelautan: Indonesian Journal of Marine Science and Technology*. 11(1), 95, 0.21107/jk.v11i1.3802.
- Habib, I. Y., Kumara, N. T. R. N., Lim, C. M., & Mahadi, A. H. (2018). Dynamic light scattering and zeta potential studies of ceria nanoparticles. *Solid State Phenomena*, 278 SSP, 112–120. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/SSP.278.112>
- Hanan, A., Laghari, A. J., Solangi, M. Y., Aftab, U., Abro, M. I., Cao, D., Ahmed, M., Lakhan, M. N., Ali, A., Asif, A., & Shar, A. H. (2022). Cdo/Co3O4 Nanocomposite As an Efficient Electrocatalyst for Oxygen Evolution Reaction in Alkaline Media. *International Journal of Engineering Science Technologies*, 6(1), 1–10. <https://doi.org/10.29121/ijoe.v6.i1.2022.259>
- Hadiati, S., Ramelan, A. H., Variani, V. I., Hikam, M., Soegijono, B., Saputri, D. F. dan Iriani, Y. 2014. Kajian Variasi Temperatur Annealing dan holding time Metode Sol-Gel. *Jurnal Fisika dan Aplikasinya*. 10(1), 37-43.
- Hidayanti, F. & Harnovan, A. A. 2020. Application of Scanning Electron Microscopy: a Review. *Int. J. Appl. Sci. Eng. Rev.* 1(6), 91–102.
- Huang, H., Hayes, E. T. C., Gianolio, D., Cibin, G., Hage, F. S., Ramasse, Q. M. and Russell, A. 2021. Role of SnO₂ in the Bifunctional Mechanism of CO Oxidation at Pt-SnO₂ Electrocatalysts. *ChemElectroChem*, 8, 2572-2582.
- Jang, S. J., Kang, Y. C., Hyun, J. S., Shin, T. H., Lee, Y. W., & Roh, K. C. (2021). Hybrid structure of tio₂-graphitic carbon as a support of pt nanoparticles for catalyzing oxygen reduction reaction. *Catalysts*, 11(10), 1–11. <https://doi.org/10.3390/catal11101196>
- Joghee, P., Malik, J. N., Pylypenko S. and O'Hayre R. 2015. A review on direct methanol fuel cells–In the perspective of energy and sustainability. *MRS Energy Sustain*.2(1), 1–31. 10.1557/mre.2015.4.
- Kim, G. H., Kim, D., Kim, J., Kim, H. and Park, T. 2020. Impact of cracked gas diffusion layer on performance of polymer electrolyte membrane fuel cells. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*. 91. 311-316.

- Lailiyah, N., Fadhila, K. N., Ramadhani, N. I. and Maharani, D. K. 2022. Preparasi dan Karakterisasi Komposit Kitosan-TiO₂/ZnO Sebagai Agen Hidrofobik dan Antibakteri pada Kain Katun. *Sains dan Matematika*. 7. 51-57. <https://doi.org/10.26740/sainsmat.v7n1.p51-57>.
- Li, B., Cao, S., Qin, Y., Liu, X., Xu, X., & Xin, Q. (2024). Liquid Water Transport and Distribution in the Gas Diffusion Layer of a Proton Exchange Membrane Fuel Cell Considering Interfacial Cracks. *Energies*. 17(21). <https://doi.org/10.3390/en17215339>
- Lin, X., Sun, M., Gao, B., Ding, W., Zhang, Z., Anandan, S., & Umar, A. (2021). Hydrothermally regulating phase composition of TiO₂ nanocrystals toward high photocatalytic activity. *Journal of Alloys and Compounds*, 850, 156653. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2020.156653>
- Mappamasing, F., Anwar, E., & Mun'im, A. (2015). Formulasi, Karakterisasi dan Uji Penetrasi In Vitro Resveratrol Solid Lipid Nanopartikel dalam Krim Topikal (Formulation, Characterization and In Vitro Penetration Study of Resveratrol Solid Lipid Nanoparticles in Topical Cream). *Jurnal Ilmu Kefarmasian Indonesia*, 13(2), 137–144.
- Muliawati E. C. and Mirzayanti Y. W. 2021. Membran Polieugenol Tersulfonasi (PET) Sebagai Potensi Sel Bahan Bakar Metanol Langsung. *Journal of Research and Technology*. 7(2), 247–256. 10.55732/jrt.v7i2.478.
- Mulyadi, I. (2019). Isolasi Dan Karakterisasi Selulosa : Review. *Jurnal Sainika Unpam: Jurnal Sains Dan Matematika Unpam*, 1(2), 177. <https://doi.org/10.32493/jsmu.v1i2.2381>
- Musadi, M. R., Rossa, Y. dan Suryaman, G. R. 2024. Pengaruh Temperatur Terhadap Kinerja Pembangkit Listrik Direct Methanol (DMFC). *Jurnal Teknik Energi Elektrik, Teknik Telekomunikasi, & Teknik Elektronika*. 12, 852-861. <http://dx.doi.org/10.26760/elkomika.v12i4.852>.
- Majlan, E. H., Rohendi, D., Daud, W. R. W., Husaini, T. & Haque, M. A. 2018. Electrode for proton exchange membrane fuel cells: A review. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 89, 117–134. 10.1016/j.rser.2018.03.007.
- Nakazato, Y., Kawachino, D., Noda, Z., Matsuda, J., Lyth, S. M., Hayashi, A., & Sasaki, K. (2018). PEFC Electrocatalysts Supported on Nb-SnO₂ for MEAs with High Activity and Durability: Part I. Application of Different Carbon Fillers . *Journal of The Electrochemical Society*, 165(14), F1154–F1163. <https://doi.org/10.1149/2.0311814jes>
- Nanda, A. D. (2020). Aplikasi Tinta Karbon Binchotan Dengan SnO₂ Untuk Lapis Katalis Dalam Membrane Electrode Assembly (MEA) Pada Direct Methanol Fuel Cell (DMFC). Skripsi Jurusan Kimia FMIPA Universitas Sriwijaya. Tidak dipublikasikan.

- Okonkwo, P. C. & Otor, C. 2021. A review of gas diffusion layer properties and water management in proton exchange membrane fuel cell system. *Int. J. Energy Res.* 45(3), 3780–3800. 10.1002/er.6227.
- Osman, S. H., Kamarudin, S. K., Basri, S., & A. Karim, N. (2023). Three-Dimensional Graphene Aerogel Supported on Efficient Anode Electrocatalyst for Methanol Electrooxidation in Acid Media. *Catalysts*, 13(5). <https://doi.org/10.3390/catal13050879>
- Ozden, A., Shahgaldi, S., Li, X. & Hamdullahpur, F. 2019. A review of gas diffusion layers for proton exchange membrane fuel cells—With a focus on characteristics, characterization techniques, materials and designs. *Prog. Energy Combust. Sci.* 74, 50–102 . 10.1016/j.pecs.2019.05.002.
- Pataya, S. A., Gareso, P. L. & Juarlin, E. 2016. Karakterisasi lapisan tipis titanium dioksida (TiO₂) yang ditumbuhkan dengan metode spin coating diatas substrat kaca. *Ophthalmology*. 104(11), 1785–1793.
- Patel, G. H., Chaki, S. H., Kannaujiya, R. M., Parekh, Z. R., Hirpara, A. B., Khimani, A. J. and Kannaujiya, R. M. 2021. Sol-gel synthesis and thermal characterization of SnO₂ nanoparticles. *Phys. B Condens. Matter*. 613. 10.1016/j.physb.2021.412987.
- Pereira, L. C., Correa, C. R., Zilnyk, K. D., Hias, E. O., Santos, H. C., Yamamoto, H., Barros, J. L. and Yamaji, M. 2024. Binchotan Charcoal as an Alternative to Calcined Petroleum Coke in Anodes in the Aluminum Industry. *ACS Sustain. Chem. Eng.* 12(31), 11480–11487. 10.1021/acssuschemeng.4c03756.
- Prasojo, A. W. and Pohan, G. A. 2024. Sintesis Nanopartikel SiO₂ Menggunakan Metode Sol – Gel dengan Variasi Lama Waktu Kalsinasi. *Jurnal Mesin Material Manufaktur dan Energi*. 4(2), 324–328.
- Rahman, T., Fadhlulloh, M. A., Nandiyanto, A. B. D., & Mudzakir, A. (2014). Review : Sintesis Titanium Diokasida Nanopartikel. *Jurnal Integrasi Proses*, 5(1), 15–29.
- Ramadhani, D. dan Widiyanti, N. 2022. Pengaruh Formulasi Serum Nanoemulgel Terhadap Aktivitas Antioksidan Ekstrak Daun Kelor. *Jurnal Fusion*. 08(2), 678-693.
- Razmjooei, F., Farooqui, A., Reissner, R., Gago, A. S., Ansar, S. A. and Friedrich, K. A. 2020. Elucidating the Performance Limitations of Alkaline Electrolyte Membrane Electrolysis: Dominance of Anion Concentration in Membrane Electrode Assembly. *ChemElectroChem*. 7(19), 3951–3960. 10.1002/celec.202000605.
- Rohadi, D. L. and . Asnawi. 2021. Pengembangan Sensor Glukosa Berbasis Material Tin Oxide Nano Dengan Menggunakan Fiber Bragg Grating. *Jurnal Inovasi Fisika Indonesia*. 10(1), 36–42. 10.26740/ifi.v10n1.p36-42.

- Rohendi, D., Syarif, N., Said, M., Utami, M. T. & Marcelina, Y. 2019. Utilization of catalyst-coated membrane (CCM) and spraying methods in fabrication membrane electrode assembly (MEA) for direct methanol fuel Cell (DMFC) using Pt-Co / C catalyst. *J. Phys. Conf. Ser.* 1282. 10.1088/1742-6596/1282/1/012065.
- Sabrina, G. J. dan Supradi, Z. A. I. 2019. Sintesis dan Karakterisasi Material Katoda LiFePO₄ Pada Baterai Lithium Ion. *Jurnal Inovasi Fisika Indonesia (IFI)*. 8(3), 58-61. <https://doi.org/10.26740/ifi.v8n3.p%25p>. Sahurni, A., Deswardani, F., Afrianto, M. F. and Nurhidayah. 2024. Sintesis dan Karakterisasi Lapisan Tipis ZnO/Asam Stearat. *Journal Online of Physics*. 9, 66-71. <https://doi.org/10.22437/jop.v9i3.36028>.
- Sjahfirdi, L., Aldi, N., Maheshwari, H. and Astuti, P. 2015. APLIKASI FOURIER TRANSFORM INFRARED (FTIR) DAN PENGAMATAN PEMBENGKAKAN GENITAL PADA SPESIES PRIMATA , LUTUNG JAWA (Trachypithecus auratus) UNTUK Fourier Transform Infrared (FTIR) Application and Genital Observation in Detecting Primate. *J. Kedokt. Hewan*. 9(2), 156-160
- Sravani, B., Chandrashekar, Y., Chandana, P. S., Maiyalagan, T. and Sarma, L. S. Bimetallic PtCu-decorated reduced graphene oxide (RGO)-TiO₂ nanocomposite for efficient oxygen reduction reaction. *Synth. Met.* 266, 116433. 10.1016/j.synthmet.2020.116433.
- Sumari, S., Prakasa, Y. F., Asrori, M. R. and Baharintasari, D. R. 2020. Analisis Kandungan Mineral Pasir Pantai Bajul Mati Kabupaten Malang Menggunakan XRF dan XRD. *Fuller. J. Chem.* 5(2), 58. 10.37033/fjc.v5i2.154.
- Sun, X., Yang, C., Xia, Z., Qi, F., Sun, H., & Sun, G. (2020). Molecular sieve as an effective barrier for methanol crossover in direct methanol fuel cells. *International Journal of Hydrogen Energy*, 45(15), 8994–9003. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2020.01.133>
- Syarif, N. 2023. Ideasi Kreativitas Masyarakat Desa Berupa Kerajinan Tangan dengan Menggunakan Karbon Konduktif. *ABDINE: Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat*. 3, (1), 39–48.
- Syarif, N., Rohendi, D., Haryati, S. & Tin, L. C. 2020. Preparing of Carbon Nanodots from Binchotan Carbon by Electrochemically Sonification and Dialysis. *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.* 796(1). doi: 10.1088/1757-899X/796/1/012057.
- Tsu-Ura, A., Torii, H., Hasegawa, T., Murayama, D., Kim, S. W., Uematsu, K., Toda, K. and Sato, M. 2018. Synthesis of Na₂FePO₄F using polytetrafluoroethylene. *Journal of the Ceramic Society of Japan*. 126 (5), 336-340. <http://doi.org/10.2109/jcersj2.17230>
- Ulayya, H. F., Suwele, Y. A. L., Junior, E. I., Rinjani, N. A., Izat, S., & Suprpto, S.

- (2019). Pemanfaatan Lendir Bekicot Afrika (*Achatina fulica*) sebagai Obat Luka Bakar Berbasis Nanoemulsi. *Kartika: Jurnal Ilmiah Farmasi*, 6(2), 91. <https://doi.org/10.26874/kjif.v6i2.159>
- Uspenskaya, E., Simutina, A., Kuzmina, E., Sukhanova, V., Garaev, T., Pleteneva, T., Koldina, A., Kolyabina, E., Petrov, G., & Syroeshkin, A. (2023). Exploring the Effects of Cramped-Impact-Type Mechanical Action on Active Pharmaceutical Ingredient (Levofloxacin)—Prospects for Pharmaceutical Applications. *Powders*, 2(2), 464–483. <https://doi.org/10.3390/powders2020028>
- Utami, C. T., Maudini, N. W., & Aprilia, R. (2021). Sistem Monitoring Keberadaan Covid-19 pada Air Menggunakan Biosensor dan Kecerdasan Buatan Berbasis Internet of Things. *Jurnal Rekayasa Sistem dan Industri*. 8, 2. <https://doi.org/10.25124/jrsi.v8i02.457>
- Wahyono. dan Anies, R. (2016). Pembuatan Alat Produksi Gas Hidrogen dan Oksigen Tipe Wett Cell dengan Variasi Luas Penampang. *Jurnal Teknik Energi*, 1(12), 18-23.
- Wei, C., Sun, S., Mandler, D., Wang, X., Qiao, S. Z., & Xu, Z. J. (2019). Approaches for measuring the surface areas of metal oxide electrocatalysts for determining their intrinsic electrocatalytic activity. *Chemical Society Reviews*, 48(9), 2518–2534. <https://doi.org/10.1039/c8cs00848e>
- Wicaksono, M. A., Noerochim, L. and Purniawan, A. 2021. Analisis Pengaruh Variasi Rasio Berat Nafion/Karbon pada Lapisan Katalis Membrane Electrode Assembly terhadap Performa Elektrokimia PEM Fuel Cell (PEMFC). *Jurnal Tek. ITS*. 10(2), 98-103. doi: 10.12962/j23373539.v10i2.63997.
- Yao, A. M., & Viswanathan, V. (2024). Open-Circuit Voltage Models Should Be Thermodynamically Consistent. *Journal of Physical Chemistry Letters*, 15(4), 1143–1151. <https://doi.org/10.1021/acs.jpcclett.3c03129>
- Zamora, H., Cañizares, P., Rodrigo, M. A. and Lobato, J. 2015. Improving of micro porous layer based on advanced carbon materials for high temperature proton exchange membrane fuel cell electrodes. *Fuel Cells*. 15(2), 375–383. 10.1002/fuce.201400139.
- Zhang, K., Feng, C., He, B., Dong, H., Dai, W., Lu, H. and Zhang, X. 2016. An advanced electrocatalyst of Pt decorated SnO₂/C nanofibers for oxygen reduction reaction. *Journal Electroanalytical Chemistry*. 781, 198–203. 10.1016/j.jelechem.2016.11.002.
- Zhang, Y., Song, Y., Zhao, J., Li, S., & Li, Y. (2020). Ultrahigh electrocatalytic activity and durability of bimetallic Au@Ni core-shell nanoparticles supported on rGO for methanol oxidation reaction in alkaline electrolyte. *Journal of Alloys and Compounds*, 822, 153322. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2019.153322>
- Zulhamida, & Putra, A. (2024). Sintesis dan Karakterisasi Elektroda Superkapasitor

Berbasis Karbon Aktif Limbah Tongkol Jagung. *Jurnal Pendidikan Tambusai*, 8(2), 19505–19516.