

**APLIKASI TINTA KARBON BINCHOTAN DENGAN SnO₂ UNTUK
LAPIS KATALIS DALAM *MEMBRANE ELECTRODE ASSEMBLY (MEA)*
PADA *DIRECT METHANOL FUEL CELL (DMFC)***

SKRIPSI

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



Oleh :

**ADE DWI NANDA
08031281823109**

**JURUSAN KIMIA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS SRIWIJAYA
2022**

HALAMAN PENGESAHAN

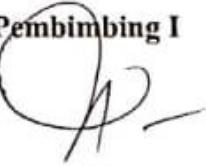
APLIKASI TINTA KARBON BINCHOTAN DENGAN SnO₂ UNTUK LAPIS KATALIS DALAM *MEMBRANE ELECTRODE ASSEMBLY (MEA)* PADA *DIRECT METHANOL FUEL CELL (DMFC)*

SKRIPSI

Diajukan untuk Melengkapi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Sains Bidang Studi Kimia

Oleh
Ade Dwi Nanda
08031281823109

Indralaya, 25 Mei 2022

Pembimbing I


Dr. Nirwan Syarif, M.Si
NIP. 197010011999031003



HALAMAN PERSETUJUAN

Karya tulis ilmiah berupa skripsi ini dengan judul “Aplikasi Tinta Karbon Binchotan dengan SnO₂ untuk Lapis Katalis dalam *Membrane Electrode Assembly* (MEA) pada *Direct Methanol Fuel Cell (DMFC)*” telah dipertahankan dihadapan Tim Penguji Sidang Sarjana Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Sriwijaya pada tanggal 18 Mei 2022 dan telah diperbaiki, diperiksa serta disetujui sesuai dengan masukan yang diberikan.

Indralaya, 25 Mei 2022

Pembimbing :

1. Dr. Nirwan Syarif, M.Si

NIP. 197010011999031003

Penguji :

1. Dr. Eliza, M.Si

NIP. 196407291991022001

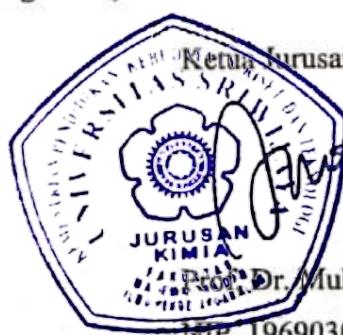
2. Widia Purwaningrum, M.Si

NIP. 197304031999032001

Mengetahui,



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



Dr. Muhamni, M.Si
NIP. 196903041994122001

PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama Mahasiswa : Ade Dwi Nanda

NIM : 08031281823109

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 Mei 2022

Yang menyatakan,

Ade Dwi Nanda

NIM. 08031281823109



HALAMAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

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

Nama Mahasiswa : Ade Dwi Nanda
NIM : 08031281823109
Fakultas/Jurusan : MIPA/Kimia
Jenis Karya : Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, saya menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Sriwijaya “hak bebas royalti non-ekslusif (*non-exclusively royalty-free right*) atas karya ilmiah saya yang berjudul: “Aplikasi Tinta Karbon Binchotan dengan SnO₂ untuk Lapis Katalis dalam *Membrane Electrode Assembly* (MEA) pada *Direct Methanol Fuel Cell* (DMFC)”. Dengan hak bebas royalti non-ekslusif 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 Mei 2022

Yang menyatakan,



Ade Dwi Nanda

NIM. 08031281823109

HALAMAN PERSEMBAHAN

*Teruntuk Ayah dan Ibu yang paling aku sayangi,
Kakak dan Adikku tercinta,
Serta sahabat-sahabatku yang tidak pernah meninggalkanku
Skripsi ini aku persembahkan untuk kalian*

“As He promised you, perhaps you hate something while it’s good for you; and perhaps you love something while it’s bad for you, you only need to put your trust in Him, be thankful, and let go. Someday you’ll connect the dots, someday you’ll understand why. Just, keep going.”

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Allah SWT atas segala rahmat dan kasih sayang-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan skripsi yang berjudul “Aplikasi Tinta Karbon Binchotan dengan SnO₂ untuk Lapis Katalis dalam *Membrane Electrode Assembly* (MEA) 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 terlibat, oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada :

1. Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat-Nya, yang Maha Mengetahui proses perjalanan penulis hingga sampai di titik ini, serta menjadi tempat 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. Muhamni, 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 pembimbing akademik penulis yang telah banyak membantu penulis selama masa perkuliahan. Terima kasih atas kesabaran, bimbingan, serta waktu yang telah diluangkan kepada penulis.
5. Bapak Dr. Dedi Rohendi, M.T selaku ketua Laboratorium Pusat Unggulan Riset *Fuel Cell* dan Hidrogen Universitas Sriwijaya yang telah banyak memberikan saran kepada penulis terkait penelitian tanpa pernah membedakan penulis dengan mahasiswa bimbingan sendiri.
6. Ayah yang telah menjaga dan melindungi penulis, serta Ibu yang selalu sabar dan memberikan nasihat terbaik. Terimakasih untuk semua bentuk dukungan dalam bentuk materi, doa serta kasih sayang yang tiada akhir.
7. Saudari kandung penulis, tim terbaik penulis, Mutia Citra dan Miftahul Jannah. Terima kasih telah banyak mendengarkan keluhan, membantu

kegiatan selama perkuliahan, serta menghibur penulis dikala lelah dalam menyelesaikan skripsi.

8. Keluarga besar Muchtar Nanung, almarhum Yai, Nenek, Om, Tante dan Sepupu yang telah mendoakan selama ini.
9. Vikansia Saputri Anggraeni (Cikan) dan Sintia Anggita (teteh) yang selalu ada untuk penulis, mendengarkan cerita penulis, serta tidak pernah bosan mendiskusikan berbagai hal *random* dengan penulis. *Thank you for staying with me after years*, semoga selamanya tetap seperti ini.
10. Orang-orang terbaik di masa perkuliahan penulis, Jessica Ajeng Putri, Devi Indah Chairani, Rolis Sulistiawati, serta Nurisa Layla Imtihana. Jessica yang selalu ada dan telah melewati berbagai hal bersama penulis, Devi yang paling tulus dalam membantu dan senang direpotkan dalam hal apapun, Rolis yang sering menemani dan membantu penulis di kampus selama revisi, serta Elak yang membuat suasana lebih cair dengan ceritanya. Terima kasih telah menerima dan menemani penulis sampai akhir, juga untuk kenangan yang tidak semuanya indah, namun tetap berarti bagi hidup penulis. Semoga di kemudian hari bisa bertemu kembali dengan cerita yang lebih baik.
11. Kakak-kakak mentor PUR, Kak Reka, Kak Dwi, Kak Icha dan Kak Yuni yang banyak membantu penulis dalam penelitian dan kepenulisan. Terima kasih atas waktu dan ilmu yang telah diberikan, semoga kakak sehat selalu.
12. Teman satu tim tugas akhir penulis, Delima dan Sandi. Delima (Yuk delimut) yang setia mendengarkan pesan suara penulis mengenai keluhan skripsi (*I wish I knew you earlier*) serta Sandi yang bersedia menumpangi penulis ke PUR selama penelitian. Terima kasih telah berjuang bersama, tetap semangat dan sukses selalu.
13. Teman-teman PUR kloter 1 (Devi, Anin, Igam, Fatma, Marya, Ilyas, Sabrina, Cici, Balqis, Irma) dan kloter 2 (Ade M, Dinda, Teja, Eko, Ghifar, Prima, Keke, Nadia, Iren). Terima kasih atas kebersamaannya, semoga bisa bertemu di kesempatan yang lebih baik.

14. Gatri dan Dilla, adik asuh penulis di HIMAKI yang telah banyak memberikan dukungan terhadap penulis. Terima kasih sudah menjadi adik tingkat yang baik. Tetap semangat sampai akhir, semoga dimudahkan segala urusan perkuliahanmu.
15. Admin jurusan kimia, Kak Iin dan Mbak Novi yang telah banyak membantu proses administrasi penyelesaian skripsi dan sidang.
16. Kakak tingkat angkatan 2017, terutama kak Ory Adelia yang sudah sangat baik membantu penulis dari semenjak LDO sampai hari-hari menuju sidang.
17. Teman-teman angkatan 2018 yang telah mewarnai kehidupan penulis selama perkuliahan. Penulis sangat berharap bisa mengenal kalian lebih dekat satu per satu. Semoga bertemu lagi di hari yang lebih baik.
18. Semua orang yang telah mendukung dan memberikan motivasi kepada penulis ketika penulis merasa putus asa (*Seventh Intake* SMANSS, teman kuliah, teman SD, teman media sosial).
19. Semua pengalaman, hambatan, kegagalan, serta orang-orang yang datang dan pergi di kehidupan penulis yang telah mendewasakan penulis. Terima kasih telah membentuk penulis menjadi pribadi yang lebih kuat dan banyak bersyukur.

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.

Palembang, 25 Mei 2022

Penulis

SUMMARY

THE APPLICATION OF CARBON DOTS FROM BINCHOTAN WITH SnO₂ INK FOR CATALYST LAYER IN MEMBRANE ELECTRODE ASSEMBLY (MEA) IN DIRECT METHANOL FUEL CELL (DMFC)

Scientific Report in the form of Skripsi, January 2022

Ade Dwi Nanda, supervised by Dr. Nirwan Syarif, M.Si

xvi + 70 Pages, 3 Tables, 10 Pictures, 6 Attachments

The research about the application of carbon dots from binchotan and SnO₂ ink as catalyst layer in Membrane Electrode Assembly (MEA) of Direct Methanol Fuel Cell (DMFC) has been done. Carbon dots was prepared by electrolysis and sonication then ball milled with 40% and 60% SnO₂ against carbon dots formed SnO₂/C catalyst. Gas diffusion layer (GDL) were made with varied conductive components which were carbon vulcan and carbon dots by spraying method. SnO₂/C catalyst, nafion and polytetrafluoroethylene (PTFE), were stirred to produce catalyst ink which then sprayed into the GDL surface forming catalyst layer (CL) in MEA. The hydrophobicity of GDL surface was tested using critical angle analysis. The electrical conductivity and electrochemical surface area (ECSA) values of electrode were calculated based on the Electrochemical Impedance Spectroscopy (EIS) and Cyclic Voltammetry (CV) measurement datas. The hydrophobicity test showed the contact angles were 123,38° for GDL of vulcan and 95,3° for GDL of carbon dots, respectively meaning that GDL of carbon dots is less hydrophobic than GDL of vulcan. The highest electrical conductivity and ESCA values were obtained by the electrode with 60% SnO₂ in the catalyst layer with GDL vulcan whose values were 0,401148 S/cm and 288,2992 cm²/g. The performance test of MEA to DMFC acquired 233,7 mV in 15% of methanol concentration as the best result which was achieved by MEA with GDL vulcan SnO₂ 60%.

Keywords : DMFC, MEA, Dots, Vulcan, SnO₂

Citations : 51 (2005-2022)

RINGKASAN

APLIKASI TINTA KARBON BINCHOTAN DENGAN SnO₂ UNTUK LAPIS KATALIS DALAM *MEMBRANE ELECTRODE ASSEMBLY* (MEA) PADA *DIRECT METHANOL FUEL CELL* (DMFC)

Karya Tulis Ilmiah dalam Skripsi, Januari 2022

Ade Dwi Nanda, dibimbing oleh Dr. Nirwan Syarif, M.Si

xvi + 70 Halaman, 3 Tabel, 10 Gambar, 6 Lampiran

Penelitian mengenai pengaplikasian tinta karbon binchotan dengan SnO₂ sebagai lapis katalis dalam *Membrane Electrode Assembly* (MEA) pada *Direct Methanol Fuel Cell* (DMFC) telah dilakukan. Karbon dots dipreparasi melalui elektrolisis dan sonikasi lalu di *ball mill* dengan serbuk SnO₂ persentase 40% dan 60% terhadap karbon dots membentuk katalis SnO₂/C. Lapisan Pendifusi Gas (GDL) dibuat dengan variasi komponen konduktif berupa karbon dots dan karbon vulcan menggunakan metode spraying. Katalis SnO₂/C, nafion dan polytetraflouroethylene (PTFE) diaduk menggunakan stirrer menghasilkan tinta katalis yang disemprotkan ke atas permukaan GDL membentuk lapis katalis (CL) pada MEA. Hidrofobisitas permukaan GDL diuji menggunakan analisa sudut kontak. Konduktivitas elektrik dan nilai Electrochemical Surface Area (ECSA) dari elektroda dihitung berdasarkan data pengukuran *Electrochemical Impedance Spectroscopy* (EIS) dan *Cyclic Voltammetry* (CV). Hasil uji hidrofobisitas menunjukkan bahwa sudut kontak yang didapatkan GDL vulcan dan dots masing-masing sebesar 123,38° dan 95,3°, yang berarti GDL karbon Dots kurang hidrofobik dari GDL karbon vulcan. Nilai konduktivitas elektrik dan ECSA tertinggi dimiliki elektroda yang mengandung SnO₂ 60% pada lapisan katalis dengan GDL vulcan sebesar 0,401148 S/cm dan 288,2992 cm²/g. Uji kinerja MEA pada DMFC memberikan hasil terbaik sebesar 233,7 mV methanol 15% yang dicapai oleh MEA dengan GDL vulcan persentase SnO₂ 60%.

Kata Kunci : *DMFC, MEA, Dots, Vulcan, SnO₂*

Kepustakaan : 51 (2005-2022)

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN SAMPUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
HALAMAN PERSETUJUAN	iii
PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH.....	iv
HALAMAN PERSETUJUAN PUBLIKASI UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS.....	v
HALAMAN PERSEMBAHAN	vi
KATA PENGANTAR.....	vii
SUMMARY	x
RINGKASAN	xi
DAFTAR ISI.....	xii
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR GAMBAR.....	xv
DAFTAR LAMPIRAN	xvi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	4
1.4 Manfaat Penelitian.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 <i>Fuel Cell</i>	5
2.2 <i>Direct Methanol Fuel Cell (DMFC)</i>	6
2.3 <i>Membrane Electrode Assembly (MEA)</i>	7
2.4 Elektroda	8
2.4.1 Lapisan Pendifusi Gas (GDL)	9
a. Karbon pada GDL.....	10
2.4.2 Lapis Katalis (CL).....	11
2.4.3 Karbon Dots sebagai Material Pengembang Katalis.....	12
2.4.4 Arang Putih (Binchotan)	14
2.4.5 Metode <i>High Energy Milling (HEM)</i>	15
2.4.6 Pembuatan Elektroda Metode <i>Spraying</i>	15
2.5 Plat Bipolar dan <i>Current Collector</i>	16
2.6 Cara Kerja DMFC.....	17
2.7 <i>Cyclic Voltammetry (CV)</i>	18
2.8 <i>Electrode Impedance Spectroscopy (EIS)</i>	18
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	20
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	20
3.2 Alat dan Bahan.....	20
3.3 Prosedur Penelitian	20
3.3.1 Pembuatan Elektroda.....	20

a. Preparasi Karbon Dots	21
b. Pembuatan Lapisan Pendifusi Gas (GDL).....	21
c. Pembuatan Katalis SnO ₂ /C	22
d. Pembuatan Lapis Katalis	22
3.3.2 Uji Hidrofobisitas Lapisan Pendifusi Gas (GDL)	23
3.3.3 Karakterisasi Elektroda	23
a. Perhitungan Nilai <i>Electrochemical Surface Area</i> (ECSA)	
Metode <i>Cyclic Voltammetry</i> (CV)	23
b. Perhitungan Nilai Konduktivitas Elektrik Metode	
<i>Electrochemical Impedance Spectroscopy</i> (EIS).....	24
3.3.4 Pembuatan dan Pengujian Kinerja MEA pada DMFC.....	24
a. Pembuatan MEA.....	24
b. Pengujian MEA	24
3.4 Analisis Data	24
3.4.1 Analisis Hidrofobisitas Permukaan GDL.....	24
3.4.2 Analisis Karakterisasi Elektroda	25
a. Analisis <i>Cyclic Voltammetry</i> (CV)	25
b. Analisis Konduktivitas Elektrik.....	25
3.4.3 Analisis Kinerja MEA.....	26
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	27
4.1 Pembuatan Elektroda	27
4.2 Uji Hidrofobisitas Lapisan Pendifusi Gas (GDL).....	29
4.3 Karakterisasi Elektroda.....	31
4.3.1 Perhitungan Nilai <i>Electrochemical Surface Area</i> (ECSA)	
Metode <i>Cyclic Voltammetry</i> (CV)	31
4.3.2 Perhitungan Nilai Konduktivitas Elektroda Metode	
<i>Electrochemical Impedance Spectroscopy</i> (EIS).....	32
4.4 Uji Kinerja MEA pada DMFC.....	34
4.4.1 Pengukuran Nilai <i>Open Circuit Voltage</i> (OCV).....	34
4.4.2 Pengujian Kinerja MEA pada Beban Bervariasi	36
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	39
DAFTAR PUSTAKA	40
DAFTAR RIWAYAT HIDUP	70

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 1. Nilai ECSA Variasi Elektroda SnO ₂ /C	32
Tabel 2. Nilai Konduktivitas Elektrik Elektroda SnO ₂ /C	34
Tabel 3. Nilai OCV MEA SnO ₂ /C Berbagai Variasi	35

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 1. Diagram DMFC.....	5
Gambar 2. Mekanisme Kinerja MEA	6
Gambar 3.Lapisan Pendifusi Gas (GDL)	28
Gambar 4. Elektroda SnO ₂ /C	29
Gambar 5. Digital Kontak antara Air dan Permukaan	29
Gambar 6. Kurva Voltammogram Elektroda SnO ₂ /C.....	31
Gambar 7. Kurva <i>Nyquist</i> Elektroda SnO ₂ /C.....	33
Gambar 8. Grafik OCV MEA SnO ₂ /C.....	35
Gambar 9. Grafik Hasil Uji Kinerja MEA	36
Gambar 10. Kurva Polarisasi	37

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran 1. Skema Kerja	47
Lampiran 2. Perhitungan Komponen Elektroda.....	51
Lampiran 3. Perhitungan Nilai ECSA Elektroda	54
Lampiran 4. Perhitungan Nilai Konduktivitas Elektroda.....	62
Lampiran 5. Perhitungan Nilai Kerapatan Elektroda.....	64
Lampiran 6. Gambar Alat dan Penelitian.....	67

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kebutuhan energi saat ini masih didominasi oleh penggunaan energi tak terbarukan seperti bahan bakar fossil. Bahan bakar fosil ini berdampak buruk terhadap lingkungan karena dapat meningkatkan polusi gas rumah kaca, sehingga pengembangan energi terbarukan yang lebih ramah lingkungan terus dilakukan (Alimah & Dewita, 2008). Dikarenakan pengaplikasianya yang mencakup banyak hal mulai dari industri otomobil hingga perangkat pribadi (Brouwer, 2010), *fuel cell* merupakan jenis energi terbarukan yang menjanjikan dimana emisi yang dihasilkan bersih yaitu hanya berupa uap air (Herlambang & Roihatin, 2019).

Fuel cell dibedakan berdasarkan sumber hidrogen yang digunakan, salah satunya adalah *Direct Methanol Fuel Cell* (DMFC) dengan bahan bakar berupa metanol. DMFC memiliki beberapa kelebihan, diantaranya memiliki suhu operasi rendah, tidak memerlukan energi listrik dalam mengoperasikan, memiliki sistem pengisian bahan bakar yang praktis serta dirancang untuk bekerja dalam jangka waktu yang lama (Julian & Santoso, 2016).

Inti dari sistem DMFC terletak pada *Membrane Electrode Assembly* (MEA) yang tersusun dari dua elektroda yang mengapit membran (Chen et al., 2016). Keberadaan elektroda sangat penting pada *fuel cell*. Tanpa adanya elektroda dan komponennya pada *fuell cell*, proses elektrokimia tidak akan terjadi karena tidak

tersedianya media penghantar listrik (Harahap, 2016). Elektroda *fuel cell* tersusun atas lapis katalis (CL) dan lapisan pendifusi gas (GDL) (Majlan et al., 2018). Pembuatan lapisan pada elektroda ini sering dilakukan dengan metode *spraying* karena cakupannya cukup luas, murah serta dapat mengurangi sisa tinta yang digunakan dalam prosesnya (Pratama et al., 2018).

Lapis katalis pada DMFC umumnya terbuat dari katalis berbasis *platinum* (Baroutaji et al., 2022). Akan tetapi, *platinum* merupakan katalis yang membutuhkan biaya tinggi (Husin & Syamsuddin, 2010) dan mudah teracuni oleh karbon monoksida pada DMFC (Ramli & Kamarudin, 2018), karenanya banyak penelitian yang difokuskan untuk mencari katalis pengganti *platinum* (Karim & Kamarudin, 2013). Salah satu jenis katalis yang dipertimbangkan sebagai pengganti *platinum* adalah katalis berbasis logam oksida seperti SnO₂ yang diketahui memiliki ketahanan korosi, stabilitas serta konduktivitas elektrik yang tinggi (Rahman et al., 2019). Beberapa penelitian menunjukkan bahwa SnO₂ dapat meningkatkan reaksi reduksi oksidasi (ORR) elektrokatalitik (Zhang et al., 2016) yang berhubungan dengan proses transfer muatan (Takasaki et al., 2011), serta dapat meningkatkan kinetika reaksi dan toleransi terhadap kontaminan (Hoque et al., 2014).

Katalis dalam melakukan kerjanya *pada fuel cell* memerlukan suatu material pengembang yang dapat meningkatkan aktivitas katalitik. Material pengembang katalis harus memiliki luas permukaan besar, stabilitas yang baik serta konduktivitas elektrik tinggi (Baruah & Deb, 2021). Karbon dots memiliki karakteristik yang diperlukan, yakni luas permukaannya besar serta konduktivitas elektrik dan ketahanan mekaniknya sangat baik (Shih et al., 2013), sehingga karbon

dots umum digunakan sebagai material pengemban katalis pada *fuel cell* (Gwebu et al., 2019). Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa karbon ini dapat disintesis dari arang putih yang dikenal dengan nama binchotan (Dewi, 2018). Ukuran karbon dots hasil elektrolisis binchotan termasuk subnano-mikro material, dengan diameter partikel 176,7 nm dan nilai PdI sebesar 0,138 yang menunjukkan sebaran partikel yang homogen (Adelita, 2020) sehingga diharapkan dapat diaplikasikan pada *fuel cell*.

Selain pada lapis katalis, karbon juga digunakan sebagai komponen konduktif pada GDL untuk memfasilitasi transfer elektron antara plat bipolar dan lapis katalis (Taherian et al., 2018). Karbon yang sering digunakan adalah karbon vulcan karena memiliki konduktivitas yang baik (Zamora et al., 2015). Selain karbon vulcan, karbon dots juga berpotensi digunakan sebagai komponen konduktif pada GDL karena memiliki konduktivitas yang baik (Gayen et al., 2019), namun belum banyak penelitian yang membahas mengenai hal ini.

Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk membuat katalis DMFC pengganti *platinum* berupa SnO_2 dengan substrat pengemban karbon dots dari binchotan serta pengamatan kinerjanya pada GDL dengan karbon vulcan dan GDL dengan karbon dots untuk mencapai aktivitas katalis tinggi, laju reaksi reduksi oksidasi (ORR) yang cepat serta biaya pembuatan katalis yang terjangkau pada DMFC.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, dapat dirumuskan beberapa masalah yaitu :

1. Bagaimana sifat elektrokimia elektroda SnO_2/C dengan material pengemban karbon dots dari binchotan pada GDL bervariasi?
2. Apakah GDL karbon dots dari binchotan dapat digunakan sebagai GDL *fuel cell*?
3. Bagaimana kinerja MEA SnO_2/C dengan material pengemban karbon dots dari binchotan pada GDL bervariasi terhadap DMFC?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Membuat dan mengukur sifat elektrokimia elektroda dengan katalis SnO_2 dan material pengemban berupa karbon dots dari binchotan pada GDL dengan komponen konduktif yang berbeda berdasarkan nilai *Electrochemical Surface Area* (ECSA) dan konduktivitas elektrik.
2. Mengetahui kelayakan penggunaan GDL dengan komponen konduktif berupa karbon dots dari binchotan berdasarkan uji hidrofobisitas.
3. Mengamati kinerja *Membrane Electrode Assembly* (MEA) dengan katalis SnO_2/C dan karbon dots pada GDL dengan komponen konduktif yang berbeda terhadap *Direct Methanol Fuel Cell* (DMFC) di berbagai variasi konsentrasi metanol.

1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat bermanfaat untuk memberikan alternatif pengganti katalis *platinum* dan karbon yang lebih ekonomis namun memiliki kinerja yang baik terhadap DMFC.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, N., Kamarudin, S. K., & Shyuan, L. K. (2018). Novel Anodic Catalyst Support for Direct Methanol Fuel Cell: Characterizations and Single-Cell Performances. *Nanoscale Research Letters*, 13, 1–13. <https://doi.org/10.1186/s11671-018-2498-1>
- Adelita, M. Y. (2020). *Karbon Dots dari Binchotan Kayu Pelawan (Tristaniopsis merguensis) dan Aplikasinya sebagai Sensor Flouresensi Cr(VI)*. Skripsi Jurusan Kimia FMIPA Universitas Sriwijaya. Tidak dipublikasikan.
- Alimah, S., & Dewita, E. (2008). Pemilihan teknologi produksi hidrogen dengan memanfaatkan energi nuklir. *Jurnal Pengembangan Energi Nuklir*, 10(2), 123–132.
- Aprilla, W. R., & Haris, A. (2016). Sintesis Semikonduktor TiO₂ serta Aplikasinya pada Dye-Sensitized Solar Cell (DSSC) Menggunakan Dye Indigo Carmine. *Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi*, 19(3), 111–117. <https://doi.org/10.14710/jksa.19.3.111-117>
- Baroutaji, A., Carton, J. G., Sajjia, M., Ramadan, M., & Olabi, A.-G. (2022). Materials in PEM Fuel Cells. *Encyclopedia of Smart Materials*, 256–266. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-815732-9.00134-0>
- Baruah, B., & Deb, P. (2021). Performance and application of carbon-based electrocatalysts in direct methanol fuel cell. *Materials Advances*, 2(16), 5344–5364. <https://doi.org/10.1039/d1ma00503k>
- Brouwer, J. (2010). On the role of fuel cells and hydrogen in a more sustainable and renewable energy future. *Current Applied Physics*, 10(2 SUPPL.). <https://doi.org/10.1016/j.cap.2009.11.002>
- Chen, X., Zhang, Z., Shen, J., & Hu, Z. (2016). Micro Direct Methanol Fuel Cell: Functional Components, Supplies Management, Packaging Technology and Application. *International Journal of Energy Research*, 1(1), 1–15. <https://doi.org/10.1002/er>
- Deva, S., Kumar, A., & Kumar, R. (2020). Microstructure Design for Artificial Superhydrophobic Surfaces. *International Journal of Engineering and Advanced Technology*, 9(3), 4023–4028. <https://doi.org/10.35940/ijeat.c6462.029320>

- Ding, K. Q., & Cheng, F. M. (2009). Cyclic voltammetrically prepared MnO₂-PPy composite material and its electrocatalysis towards oxygen reduction reaction (ORR). *Synthetic Metals*, 159(19–20), 2122–2127. <https://doi.org/10.1016/j.synthmet.2009.08.005>
- Gayen, B., Palchoudhury, S., & Chowdhury, J. (2019). Carbon dots: A mystic star in the world of nanoscience. *Journal of Nanomaterials*, 2019. <https://doi.org/10.1155/2019/3451307>
- Guangul, F. M., & Chala, G. T. (2020). A comparative study between the seven types of fuel cells. *Applied Science and Engineering Progress*, 13(3), 185–194. <https://doi.org/10.14416/J.ASEP.2020.04.007>
- Gwebu, S., N. Nomngongo, P., & W. Maxakato, N. (2019). Platinum-Based Carbon Nanodots Nanocatalysts for Direct Alcohol Fuel Cells. *Nanocatalysts*, April. <https://doi.org/10.5772/intechopen.82854>
- Harahap, M. R. (2016). Sel Elektrokimia: Karakteristik dan Aplikasi. *CIRCUIT: Jurnal Ilmiah Pendidikan Teknik Elektro*, 2(1), 177–180. <https://doi.org/10.22373/crc.v2i1.764>
- Hedyanti, A. D. (2019). *Studi Preparasi Elektroda Karbon Dots dari Binchotan dan Aplikasinya Sebagai Superkapasitor*. Skripsi Jurusan Kimia FMIPA Universitas Siwaja. Tidak Dipublikasikan.
- Herlambang, Y. D., & Roihatin, A. (2019). Teknologi Pembangkit Listrik Energi Baru Terbarukan Menggunakan Proton Exchange Membrane (PEM) Fuel Cell Skala Kecil. *Eksperi*, 15(1), 27. <https://doi.org/10.32497/eksperi.v15i1.1464>
- Hoque, M. A., Higgins, D. C., Hassan, F. M., Choi, J. Y., Pritzker, M. D., & Chen, Z. (2014). Tin oxide - Mesoporous carbon composites as platinum catalyst supports for ethanol oxidation and oxygen reduction. *Electrochimica Acta*, 121, 421–427. <https://doi.org/10.1016/j.electacta.2013.12.075>
- Husin, H., & Syamsuddin, Y. (2010). Pembuatan Katalis Cu/ZnO/Al₂O₃ untuk Proses Steam Reforming Metanol menjadi Hidrogen sebagai Bahan Bakar Alternatif. *Jurnal Rekayasa Kimia dan Lingkungan*, 7(3), 98–104.
- Joubert, H. (2005). *Design and Development of a Direct Methanol Fuel Cell for Telecommunications*. Disertasi Department of Applied Electronics and Electronic Communication Vaal University of Technology. Dipublikasikan.
- Julian, J., & 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), 37–43.
- Karim, N. A., & Kamarudin, S. K. (2013). An overview on non-platinum cathode catalysts for direct methanol fuel cell. *Applied Energy*, 103, 212–220. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2012.09.031>
- Latief, F., Rochmah, D. N. U. R., Susilawati, T., & Syakir, N. (2017). Pengaruh konsentrasi cerium dalam poli(tmspma) terhadap karakteristik impedansinya pada permukaan baja karbon. 07(01), 49–55.
- Majlan, E. H., Rohendi, D., Daud, W. R. W., Husaini, T., & Haque, M. A. (2018). Electrode for proton exchange membrane fuel cells: A review. In *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (Vol. 89, hal. 117–134). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.03.007>
- Maulana, M. I., Syahbanu, I., & Harlia. (2017). Sintesis dan Karakterisasi Material Konduktif Film Komposit Polipirol (PPy)/Selulosa Bakteri. *Jkk*, 6(3), 11–18.
- Mohan, S., & Shrestha, S. O. B. (2009). Experimental investigation of a passive direct methanol fuel cell. *The Open Fuels & Energy Science Journal*, 2(1), 124–128. <https://doi.org/10.1016/j.electacta.2012.08.045>
- Mustofa, S. (2012). PENUMBUHAN CARBON NANOTUBE DENGAN TEKNIK MILLING MENGGUNAKAN Fe SEBAGAI KATALIS PENUMBUH. *Jurnal Sains Materi Indonesia*, 14(1), 29–33.
- Pratama, R. P., Sitepu, T., Departemen, M., Mesin, T., Teknik, F., & Sumatera, U. (2012). Hidrogen Pada Sel Bahan Bakar Polymer Electrolyte Membrane Kapasitas 20 W. *Jurnal Dinamis*, 1(1), 51–59.
- Putro, P. A., & Maddu, A. (2019). Sifat Optik Carbon Dots (C-Dots) Dari Daun Bambu Hasil Sintesis Hijau Berbantuan Gelombang Mikro. *Wahana Fisika*, 4(1), 47. <https://doi.org/10.17509/wafi.v4i1.15569>
- Rahman, C. Z. C. A., Kok, K. Y., Matori, K. A., Saidin, N. U., Choo, T. F., Sabli, N. H., Talib, Z. A., & Yaakob, Y. (2019). Chemical synthesis and characterization of metal-oxide based electrocatalysts for fuel cell reactions. *AIP Conference Proceedings*, 2068(February), 6–11. <https://doi.org/10.1063/1.5089359>
- Rahman, M. M., Inaba, K., Batnyagt, G., Saikawa, M., Kato, Y., Awata, R., Delgertsetsega, B., Kaneta, Y., Higashi, K., Uruga, T., Iwasawa, Y., Ui, K., & Takeguchi, T. (2021). Synthesis of catalysts with fine platinum particles supported by high-surface-area activated carbons and optimization of their

- catalytic activities for polymer electrolyte fuel cells. *RSC Advances*, 11(33), 20601–20611. <https://doi.org/10.1039/d1ra02156g>
- Ramli, Z. A. C., & Kamarudin, S. K. (2018). Platinum-Based Catalysts on Various Carbon Supports and Conducting Polymers for Direct Methanol Fuel Cell Applications: a Review. *Nanoscale Research Letters*, 13. <https://doi.org/10.1186/s11671-018-2799-4>
- Rohendi, D., Majlan, E. H., Mohamad, A. B., Shyuan, L. K., & Raharjo, J. (2016a). Comparison of The Performance of Proton Exchange Membrane Fuel Cell (PEMFC) Electrodes with Different Carbon Powder Content and Methods of Manufacture. *Indonesian Journal of Fundamental and Applied Chemistry*, 1(3), 61–66. <https://doi.org/10.24845/ijfac.v1.i3.61>
- Rohendi, D., Majlan, E. H., Mohamad, A. B., Shyuan, L. K., & Raharjo, J. (2016b). Comparison of The Performance of Proton Exchange Membrane Fuel Cell (PEMFC) Electrodes with Different Carbon Powder Content and Methods of Manufacture. *Indonesian Journal of Fundamental and Applied Chemistry*, 1(3), 61–66. <https://doi.org/10.24845/ijfac.v1.i3.61>
- Sajgure, M., Kachare, B., Gawhale, P., Waghmare, S., & Jagadale, G. (2016). Direct Methanol Fuel Cell: A Review. *International Journal of Current Engineering and Technology INPRESSCO IJCET Special Issue*, 6(6), 2277–4106. <http://inpressco.com/category/ijcet>
- Setyowati, V. A., Susanti, D., Noerochim, L., Widodo, E. W. R., & Sulaiman, M. Y. (2019). Investigation of carbon composition for electrochemical properties as pemfc cathode catalyst. *Materials Science Forum*, 964 MSF, 13–18. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.964.13>
- Shih, Z. Y., Periasamy, A. P., Hsu, P. C., & Chang, H. T. (2013). Synthesis and catalysis of copper sulfide/carbon nanodots for oxygen reduction in direct methanol fuel cells. *Applied Catalysis B: Environmental*, 132–133, 363–369. <https://doi.org/10.1016/j.apcatb.2012.12.004>
- Shiva Kumar, S., Ramakrishna, S. U. B., Rama Devi, B., & Himabindu, V. (2018). Phosphorus-doped graphene supported palladium (Pd/PG) electrocatalyst for the hydrogen evolution reaction in PEM water electrolysis. *International Journal of Green Energy*, 15(10), 558–567. <https://doi.org/10.1080/15435075.2018.1508468>
- Shrivastava, N. K., & Harris, T. A. L. (2017). Direct Methanol Fuel Cells. In *Encyclopedia of Sustainable Technologies* (Nomor December 2017). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409548-9.10121-6>

- Siburian, R., Sihotang, H., Lumban Raja, S., Supeno, M., & Simanjuntak, C. (2018). New route to synthesize of graphene nano sheets. *Oriental Journal of Chemistry*, 34(1), 182–187. <https://doi.org/10.13005/ojc/340120>
- Sitorus, B., Suendo, V., & Hidayat, F. (2011). Sintesis Polimer Konduktif sebagai Bahan Baku untuk Perangkat Penyimpan Energi Listrik. *Jurnal ELKHA*, 3(1), 43–47.
- Surakusumah, D. P., & Rustandi, A. (2014). Studi Perbandingan Coating Primer Antara Epoxy Dengan Alkyd Serta Topcoat Antara Polyurethane Dengan Acrylic Menggunakan Metode Electrochemical Impedance Spectroscopy. *Universitas Indonesia*.
- Syamsuri, M. M. F., Sutarno, & Suyanta. (2017). Pengaruh Waktu Sonikasi Selama Sintesis terhadap Kristalinitas MCM-41 berbasis Silikat. *CAKRA KIMIA (Indonesian E-Journal of Applied Chemistry)*, 5, 58–66. <https://ojs.unud.ac.id/index.php/cakra/index>
- Syarif, N., Rohendi, D., Haryati, S., & Tin, L. C. (2020). Preparing of Carbon Nanodots from Binchotan Carbon by Electrochemically Sonification and Dialysis. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 796(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/796/1/012057>
- Taherian, R., Ghorbani, M. M., Nasr, M., & Kiahosseini, S. R. (2018). Fabrication and investigation of polymer-based carbon composite as gas diffusion layer of proton exchange membrane of fuel cells. *Materials Science: Advanced Composite Materials*, 2(1), 1–12. <https://doi.org/10.18063/msacm.v2i1.611>
- Takasaki, F., Matsue, S., Takabatake, Y., Noda, Z., Hayashi, A., Shiratori, Y., Ito, K., & Sasaki, K. (2011). Carbon-Free Pt Electrocatalysts Supported on SnO₂ for Polymer Electrolyte Fuel Cells: Electrocatalytic Activity and Durability. *Journal of The Electrochemical Society*, 158(10), B1270. <https://doi.org/10.1149/1.3625918>
- Thliza, B. A., Moses, E., & Shanu, B. U. (2020). Electrochemical Impedance Spectroscopy (EIS) Study of a Dye Extract. *Chemical Science International Journal*, 29(3), 1–8. <https://doi.org/10.9734/csji/2020/v29i330165>
- Yani, A. A., Taer, E., & Saputra, R. N. (2017). *Rancangan Alat Siklik Voltammogram Untuk Aplikasi Pada Pengukuran Sel Superkapasitor*. 1–7.
- Yazdani, N., Toroghinejad, M. R., Shabani, A., & Cavaliere, P. (2021). Effects of process control agent amount, milling time, and annealing heat treatment on the microstructure of alcrcufeni high-entropy alloy synthesized through

- mechanical alloying. *Metals*, 11(9), 1–14.
<https://doi.org/10.3390/met11091493>
- Yousefi, S., & Zohoor, M. (2013). Investigating the effect of operating parameters on the open circuit voltage of a passive DMFC. *Ionics*, 19(8), 1195–1201.
<https://doi.org/10.1007/s11581-013-0924-z>
- Zamora, H., Cañizares, P., Rodrigo, M. A., & 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.
<https://doi.org/10.1002/fuce.201400139>
- Zhang, K., Feng, C., He, B., Dong, H., Dai, W., Lu, H., & Zhang, X. (2016). An advanced electrocatalyst of Pt decorated SnO₂/C nanofibers for oxygen reduction reaction. *Journal of Electroanalytical Chemistry*, 781, 198–203.
<https://doi.org/10.1016/j.jelechem.2016.11.002>