

**PENGUJIAN SIFAT KEHIDROFOBIKAN DAN KONDUKTIVITAS
ELEKTRIK GAS *DIFUSSION LAYER* (GDL) PADA BERBAGAI KONDISI
MICROPOROUS LAYER (MPL)**

SKRIPSI

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



Oleh :

IREN MARTHA

08031181823102

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

2022

HALAMAN PENGESAHAN

**PENGUJIAN SIFAT KEHIDROFOBIKAN DAN KONDUKTIVITAS
ELEKTRIK GAS *DIFUSION LAYER* (GDL) PADA BERBAGAI KONDISI
MICROPOROUS LAYER (MPL)**

SKRIPSI

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

Oleh :

IREN MARTHA

08031181823102

Indralaya, 01 November 2022

Pembimbing



Dr. Dedi Rohendi, M.T
NIP.196704191993031001

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 dengan judul “Pengujian Sifat Kehidrofobikan dan Konduktivitas Elektrik *Gas Difussion Layer* (GDL) Pada Berbagai Kondisi *Microporous Layer* (MPL)”, telah dipertahankan dihadapan Tim Penguji Sidang Sarjana Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Sriwijaya pada tanggal 25 Oktober 2022 dan telah diperbaiki, diperiksa serta disetujui sesuai masukan yang diberikan.

Inderalaya, 01 November 2022

Ketua:

1. Prof. Dr. Muharni, M.Si.

NIP. 196903041994122001

()

Sekretaris:

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

NIP. 197011152000122004

()

Pembimbing:

1. Dr. Dedi Rohendi, M.T

NIP. 196704191993031001

()

Penguji:

1. Fahma Riyanti, M.Si

NIP. 197202052000032001

()

2. Dr. Suheryanto, M.Si

NIP. 196006251989031006

()

Mengetahui,

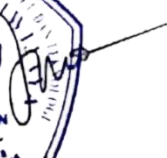

Dekan FMIPA




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

NIP. 197111191997021001

Ketua jurusan Kimia

Prof. Dr. Muharni, M.Si.

NIP. 196903041994122001

PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Iren Martha

NIM : 08031181823102

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, 01 November 2022

Penulis,



Iren Martha

NIM. 08031181823102

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

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

Nama Mahasiswa : Iren Martha
NIM : 08031181823102
Fakultas/ Jurusan : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam/ Kimia
Jenis Karya : Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, saya menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Sriwijaya karya ilmiah saya yang berjudul "Pengujian Sifat Kehidrofobikan dan Konduktivitas Elektrik *Gas Difussion Layer* (GDL) Pada Berbagai Kondisi *Microporous Layer* (MPL)". 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, 01 November 2022

Yang menyatakan



Iren Martha
NIM. 08031181823102

HALAMAN PERSEMBAHAN

Skripsi ini hadir karena
Rasa syukur saya kepada Allah SWT
&
Rasulullah SAW
serta karena
Kedua orangtua
&
Kakak laki-laki

Karya Ilmiah ini dipersembahkan untuk Almamater Universitas Sriwijaya dan para peneliti yang membutuhkan.

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Allah SWT atas segala rahmat dan kasih sayang-Nya serta Sholawat kepada Rasulullah SAW yang menjadi *role model* terbaik untuk umat-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan skripsi yang berjudul "Pengujian Sifat Kehidrofobikan dan Konduktivitas Elektrik *Gas Difussion Layer* (GDL) Pada Berbagai Kondisi *Microporous Layer* (MPL)" sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana sains bidang kimia.

Penyusunan skripsi ini terdapat berbagai rintangan dan hambatan, namun banyaknya bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak serta rasa tanggung jawab sebagai mahasiswa, skripsi ini dapat diselesaikan. Penulis mengucapkan banyak terimakasih kepada Bapak Dr. Dedi Rohendi, M.T selaku Dosen pembimbing yang banyak membantu baik material, moril hingga proses penelitian dan penulisan.

Penulis juga menyampaikan terimakasih kepada :

1. Kedua orang tua dan kakak saya atas doa dan dukungan yang selalu hadir untuk saya. Semoga Allah selalu membuka jalan untuk membahagiakan.
2. Bapak Prof. Hermansyah, Ph.D selaku Dekan FMIPA Universitas Sriwijaya.
3. Ibu Prof. Dr. Muharni, M.Si dan Bapak Dr. Addy Rachmat, M.Si selaku Ketua dan Sekretaris jurusan Kimia FMIPA.
4. Seluruh Dosen dan Staf Administrasi Kimia FMIPA Universitas Sriwijaya.
5. Ibu Fahma Riyanti, M.Si dan Bapak Dr. Suheryanto, M.Si selaku penguji sidang sarjana.
6. Ibu Dr. Miksusanti, M.Si selaku Dosen Pembimbing Akademik.
7. Kakak-kakak Mentor di PUR atas bimbingan dan ilmu, motivasi serta kesabaran selama saya berada di PUR.
8. Manusia dan segala peliharaan di PUR yang telah mentransfer semangat dan berbagi pengetahuan.
9. Teman kosan dan teman di Lubuklinggau, yang memberikan banyak cerita dan rela diajak mencoba banyak hal.

10. Kimia 2018, Asrama Lahat, Kabinet Inspiratif, Kabinet Hidrogen, Kemmas Al-Ghazali, Desa Mangkunegara Timur, Laboratorium PT. PUSRI dan PT. ATQ; terimakasih pernah rela menemani perjalanan perkuliahan saya.
11. Serta semua yang pernah menyapa dan bertemu, baik dengan berperan minor ataupun mayor, baik dalam perkuliahan maupun diluar perkuliahan; terimakasih telah memberikan pelajaran dan kebahagiaan dalam setiap pertemuan.

Semoga doa, bantuan, dukungan dan bimbingan yang diberikan menjadi amal jariyah di sisi Allah SWT, serta menjadi pintu kekuatan dan kemudahan dalam kehidupan yang dijalankan. Mohon maaf untuk kekurangan dan bila ada kesalahan dalam penyusunan skripsi ini, penulis berharap pembaca dapat memberikan kritik dan saran untuk skripsi ini. Semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan.

Indralaya, 01 November 2022

Penulis

SUMMARY

HYDROPHOBICITY AND ELECTRICAL CONDUCTIVITY TEST OF THE GAS DIFFUSION LAYER (GDL) IN VARIOUS MICROPOROUS LAYER (MPL) CONDITIONS

Iren Martha, supervised by Dr. Dedi Rohendi, M.T
Chemistry, Faculty of Mathematics and Natural Sciences, Sriwijaya University
xvi+56 pages, 10 tables, 22 pictures, 7 appendix

The research about making and testing Gas Diffusion Layer (GDL) with various Microporous Layer (MPL) conditions have be done. Microporous Layer (MPL) ink made with Polytetrafluoroethylene (PTFE) loading variations (0; 5; 10; 15; 20 and 25%), the sintering temperature variation (300; 350 and 400°C) and the carbon vulcan XC-72R loading variation (1; 2; 3; 4 and 5mg/cm²). Carbon vulcan XC-72R powder, PTFE, ammonium bicarbonate and 2-propanol the mixture was magnetic stirrer form MPL ink. Combination of carbon paper and MPL named is Gas Diffusion Layer (GDL). Then distribution MPL ink on the surface of the carbon paper by spraying method. Gas Diffusion Layer (GDL) was analyzed for hydrophobic properties by measuring the contact angel of water droplets on the surface and measuring electrical conductivity using the Electrochemical Impedance Spectroscopy (EIS) method and look the morphology GDL with microscope digital and characterization Scanning Electron Microscope (SEM). The Result of analysis hidrophobicity and electrical conductivity that GDL which the requirements as a hydrophobic and conductive coating is PTFE loading 5% and sintering temperature of 350°C with the contack angle is 123,7° and electrical conductivity of 0,0165 S/cm, and loading carbon vulcan 2 mg/cm² with the contack angle is 123,25°, electrical conductivity of 0,0274 S/cm and layer thinkness 227,8 µm.

Keywords : Microporous Layer, Hidrophobicity, PTFE, Sintering
Citations : 45 (2009 – 2022)

RINGKASAN

PENGUJIAN SIFAT KEHIDROFOBIKAN DAN KONDUKTIVITAS ELEKTRIK *GAS DIFFUSION LAYER* (GDL) PADA BERBAGAI KONDISI *MICROPOROUS LAYER* (MPL)

Iren Martha, dibimbing oleh Dr. Dedi Rohendi, M.T

Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Sriwijaya

xvi + 56 halaman, 10 tabel, 22 gambar, 7 lampiran

Penelitian tentang pembuatan dan pengujian *Gas Diffusion Layer* (GDL) dengan berbagai kondisi *Microporous Layer* (MPL) telah berhasil dilakukan. Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan komposisi MPL terbaik untuk GDL. Tinta *Microporous Layer* (MPL) dibuat dengan variasi *loading polytetrafluoroethylene* (PTFE) yaitu 0; 5; 10; 15; 20 dan 25%, variasi suhu sintering yaitu 300; 350 dan 400°C dan variasi *loading* karbon vulcan XC-72R yaitu 1; 2; 3; 4 dan 5mg/cm². Campuran karbon vulcan, PTFE, ammonium bikarbonat dan 2-propanol diaduk menggunakan magnetic stirer membentuk tinta karbon. Tinta karbon kemudian didistribusikan ke atas permukaan kertas karbon dengan metode *spraying* membentuk *Microporous Layer* (MPL). Gabungan antara kertas karbon dan MPL selanjutnya dinamakan *Gas Diffusion Layer* (GDL). GDL dianalisa sifat kehidrofobikannya dengan mengukur sudut kontak dari tetesan air di atas permukaan MPL dan konduktivitas listrik yang ditentukan menggunakan metode *Electrochemical Impedance Spectroscopy* (EIS) serta melihat morfologi dari *Gas Diffusion Layer* (GDL) menggunakan mikroskop digital dan karakterisasi *Scanning Electron Microscopy* (SEM). Hasil analisa dari hubungan antara sifat kehidrofobikan dengan konduktivitas listrik menunjukkan bahwa GDL yang telah memenuhi syarat sebagai lapisan yang bersifat hidrofobik dan konduktif yaitu pada *loading* PTFE 5% dan suhu sintering 350°C didapatkan sudut kontak sebesar 123,7° dan konduktivitas listrik sebesar 0,0165 S/cm, serta pada *loading* karbon vulcan 2 mg/cm² didapatkan sudut kontak sebesar 123,25°, konduktivitas listrik sebesar 0,0274 S/cm dan ketebalan lapisan 227,8 µm.

Kata Kunci : *Microporous Layer*, Hidrofobik, PTFE, Sintering

Kepustakaan : 45 (2009 – 2022)

DAFTAR ISI

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	ix
RINGKASAN	x
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR TABEL.....	xv
DAFTAR LAMPIRAN.....	xvi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 LatarBelakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Manfaat Penelitian.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	4
2.1 Fuel Cell	4
2.2 Membrane Electrolyte Assembly (MEA)	4
2.3 Lapisan Katalis	6
2.4 Gas Diffusion Layer (GDL)	6
2.4.1 Backing Layer (BL)	7
2.4.2 Microporous Layer (MPL).....	9
2.5 Plat Bipolar.....	10
2.6 Polytetrafluoroethylene (PTFE)	10
2.7 Karbon Vulcan	11
2.8 Sifat kehidrofobikan	12
2.9 Elektrochemical Impedance Spectroscopy (EIS).....	13

BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	14
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian.....	14
3.2 Alat dan Bahan.....	14
3.2.1 Alat.....	14
3.2.2 Bahan	14
3.3 Prosedur Penelitian	14
3.3.1 Pembuatan Gas Difussion Layer (GDL).....	14
3.3.2 Pengujian Gas Difussion Layer (GDL)	15
3.4 Data dan Perhitungan.....	16
3.4.1 Analisis Data.....	16
3.4.2 Analisis Konduktivitas Elektrik GDL.....	16
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	18
4.1 Komponen Gas Diffusion Layer (GDL).....	18
4.2 Analisa GDL dengan Variasi Loading PTFE	19
4.2.1 Uji Sifat Kehidrofobikan GDL Variasi Loading PTFE.....	19
4.2.2 Karakterisasi GDL Variasi Loading PTFE Menggunakan Metode EIS.....	20
4.2.3 Analisa Morfologi Permukaan GDL Variasi Loading PTFE	23
4.3 Analisa GDL dengan Variasi Suhu Sintering.....	24
4.3.1 Uji Sifat Kehidrofobikan GDL Variasi Suhu Sintering	24
4.3.2 Karakterisasi GDL Variasi Suhu Sintering Menggunakan Metode EIS.....	25
4.3.3 Analisa Morfologi Permukaan GDL Variasi Suhu Sintering.....	27
4.4 Analisa GDL dengan Variasi Loading Karbon Vulcan.....	28
4.4.1 Uji Sifat Kehidrofobikan GDL Variasi Loading Karbon	28
4.4.2 Karakterisasi GDL Variasi Loading Karbon Vulcan Menggunakan Metode EIS.....	29
4.4.3 Analisa Morfologi Permukaan GDL Variasi Loading Karbon Vulcan	31
4.4.4 Pengaruh ketebalan lapisan terhadap konduktivitas listrik	32
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	35
5.1 Kesimpulan	35

5.2 Saran.....	35
DAFTAR PUSTAKA	36
LAMPIRAN	41

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Skema dari operasi Fuel Cell	5
Gambar 2. Morfologi GDL dengan variasi PTFE.....	7
Gambar 3. Tipe Kertas Karbon	8
Gambar 4. Struktur elektroda dilapisi Microporous Layer (MPL)	9
Gambar 5. Struktur Polytetrafluoroethylene (PTFE).....	11
Gambar 6. Sudut kontak permukaan GDL dengan loading PTFE.....	12
Gambar 7 Kurva Nyquist	13
Gambar 8. Tetesan air pada permukaan GDL dengan loading PTFE bervariasi ..	19
Gambar 9. Rangkaian Elektronik pada variasi loading PTFE pada MPL	21
Gambar 10. Hubungan antara kehidrofobikan dan konduktivitas GDL dengan loading PTFE bervariasi.....	22
Gambar 11. Karakterisasi SEM GDL dengan loading PTFE bervariasi.....	23
Gambar 12. Mikroskop digital GDL dengan loading PTFE bervariasi	23
Gambar 13. Tetesan air pada permukaan GDL suhu sintering bervariasi	24
Gambar 14. Rangkaian elektronik pada GDL dengan suhu sintering bervariasi..	25
Gambar 15. Hubungan antara kehidrofobikan dan konduktivitas GDL dengan suhu sintering bervariasi.....	26
Gambar 16. Karakterisasi SEM GDL dengan suhu sintering bervariasi	276
Gambar 17. Tetesan air pada permukaan GDL dengan loading karbon vulcan bervariasi	28
Gambar 18. Rangkaian elektronik pada GDL dengan loading karbon vulcan bervariasi	29
Gambar 19. Hubungan antara kehidrofobikan dan konduktivitas GDL dengan loading karbon vulcan bervariasi	30
Gambar 20. Karakterisasi SEM GDL dengan loading karbon vulcan bervariasi .	31
Gambar 21. Morfologi penampang pada GDL dengan loading karbon vulcan bervariasi	32
Gambar 22. Hubungan konduktivitas listrik dan ketebalan GDL dengan loading karbon vulcan bervariasi	33

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Parameter struktur Elektroda	10
Tabel 2. Sifat kimia & fisika PTFE (DuPont, 2007).....	11
Tabel 3. Data Analisis Sudut Kontak dan Kurva Nyquist	17
Tabel 4. Nilai Sudut Kontak GDL dengan Variasi Loading PTFE.....	20
Tabel 5. Nilai Konduktivitas Listrik GDL dengan Variasi Loading PTFE	22
Tabel 6. Nilai Sudut Kontak GDL dengan Variasi Suhu Sintering	24
Tabel 7. Nilai Konduktivitas Listrik GDL Variasi Suhu Sintering.....	25
Tabel 8. Nilai Sudut Kontak GDL dengan Variasi Loading Karbon Vulcan ..	30
Tabel 9. Nilai Konduktivitas Listrik GDL Variasi Loading Karbon Vulcan...	30
Tabel 10. Hubungan konduktivitas listrik dengan ketebalan GDL.....	33

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Skema Kerja	41
Lampiran 2. Perhitungan Komponen GDL	42
Lampiran 3 Kurva Nyquist pengukuran konduktivitas.....	44
Lampiran 4 Perhitungan Nilai Konduktivitas Listrik GDL.	47
Lampiran 5 Data Hubungan Nilai Sudut Kontak dengan Konduktivitas.....	52
Lampiran 6. Morfologi permukaan GDL menggunakan Mikroskop Digital.....	53
Lampiran 7. Dokumentasi.....	55

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Fuel Cell atau sel bahan bakar merupakan perangkat elektrokimia yang mengkonversi energi kimia menjadi energi listrik yang mempunyai efisiensi tinggi dan dampak lingkungan yang rendah (Wisojodharmo *et al.*, 2014). Prinsip kerja *fuel cell* dimana reaktan pada sisi anoda dipecah menjadi proton dan elektron, kemudian proton menyebrang melewati membran dan elektron menyebrang melalui pengumpul arus ke sisi katoda. Proton yang telah melewati membran akan bereaksi dengan oksigen yang berada di katoda sehingga menghasilkan hasil samping berupa air. Komponen *fuel cell* umumnya terdiri dari plat bipolar, pengumpul arus, *Membran Electrode Assembly* (MEA) dan plat penutup (Edition and Virginia, 1989).

MEA atau *Membrane Electrode Assembly* merupakan komponen utama yang terdiri dari membran elektrolit dan dua elektroda yaitu katoda dan anoda (Baroutaji *et al.*, 2021). Proses elektrokimia *fuel cell* dapat berlangsung dengan adanya media penghantar listrik, media ini merupakan hasil dari interaksi yang terjadi pada elektroda (Harahap, 2016). Struktur elektroda terdiri dari *Gas Diffusion Layer* (GDL) dan *Catalist Layer* (CL). *Gas Diffusion Layer* (GDL) terdiri dari *Gas Difussion Media* (GDM) atau *Backing Layer* (BL) dan *Microporous Layer* (MPL) (Omrani and Shabani, 2017).

Lapisan Difusi Gas (GDL) pada MEA berfungsi sebagai media transfer elektron, dimana distribusi bahan bakar dari anoda dan oksigen dari katoda difasilitasi oleh GDL (Syarif *et al.*, 2022). Namun degradasi kinerja GDL merupakan masalah penting yang menjadi hambatan pengembangan *Fuel Cell*. Salah satu masalah kelembaban yang berasal dari hasil samping berupa air dari gas reaktan yang terakumulasi pada GDL sehingga dapat menyebabkan menurunnya konduktivitas listrik (Park *et al.*, 2008). Jika kelembaban terlalu tinggi dapat menghambat kinerja difusi oksigen karena uap air yang dihasilkan akan mengembun pada pori GDL. Namun jika kelembaban rendah dapat

menyebabkan konduktivitas proton pada membran menurun karena tingkat hidrasi membran rendah (Koresawa *and* Utaka, 2014).

Keberadaan MPL dapat menjadi solusi agar GDL bisa melakukan proses difusi gas dengan baik. MPL terdiri dari serbuk karbon dan zat hidrofobiknya (Fontana *et al.*, 2021). Sifat kehidrofobikan berfungsi meningkatkan aliran air melalui pori-pori substrat karbon untuk mencegah risiko terakumulasinya air yang berlebih pada GDL (Rohendi *et al.*, 2016). *Polytetrafluoroethylene* (PTFE) merupakan salah satu agen hidrofobik yang sering digunakan. PTFE memberikan sifat kehidrofobikan yang tinggi untuk menghindari terjadinya kelebihan kelembaban pada GDL ataupun CL (Sun *et al.*, 2015).

MPL yang dimuat dengan *loading* 10 – 20 % PTFE menghasilkan kinerja sel terbaik (Park *et al.*, 2008); (Koresawa *and* Utaka., 2014); (Chen *et al.*, 2019). *Loading* PTFE dalam MPL berperan penting dalam meningkatkan kehidrofobikan dan mempengaruhi konduktivitas serta impedansi kontakannya (Chen *et al.*, 2019). Serbuk karbon memiliki peran penting terhadap kinerja MEA berfungsi sebagai matriks pendukung katalis dan sebagai bahan pengisi pada MPL (Rohendi *and* Adnan, 2010). Serbuk karbon yang digunakan harus memiliki karakteristik konduktivitas yang tinggi, ketahanan terhadap korosi dan luas permukaan yang tinggi (Rohendi *et al.*, 2016).

Optimalisasi pengembangan GDL diantaranya jenis serbuk karbon, *loading* serbuk karbon, *loading* PTFE sebagai pemberi sifat kehidrofobikan dalam *fuel cell* (Park *et al.*, 2008), proses fabrikasi dengan mengatur suhu sintering (Rohendi *et al.*, 2014) dan waktu pemanasan (Ito *et al.*, 2017). Penelitian ini menentukan komposisi terbaik dari MPL dengan memvariasikan *loading* PTFE, suhu sintering dan *loading* serbuk karbon, sehingga diharapkan mendapatkan MPL dengan sifat kehidrofobikan dan konduktivitas elektrik yang baik. MPL yang telah dibuat dilakukan analisa sudut kontak dengan melihat tetesan air pada permukaan dan dilihat morfologi permukaannya menggunakan mikroskop digital, serta menentukan nilai konduktivitas elektrik menggunakan metode *Electrochemical Impedance Spectroscopy* (EIS).

1.2 Rumusan Masalah

Degradasi GDL sering disebabkan oleh menurunnya konduktivitas listrik dan sifat kehidrofobikan yang terlampau tinggi. Komponen yang dapat menyebabkan tingginya sifat kehidrofobikan dan menurunnya konduktivitas listrik adalah kandungan PTFE sebagai zat hidrofobik dan temperatur sintering dari GDL yang mengandung PTFE. Selain itu, kinerja GDL juga ditentukan oleh kandungan karbon pada MPL. Oleh karena itu, diperlukan komposisi MPL yang tepat untuk menghasilkan kinerja GDL yang terbaik.

1.3 Tujuan Penelitian

Menentukan komposisi MPL terbaik untuk GDL melalui analisa sifat kehidrofobikan dan nilai konduktivitas listrik dengan memvariasikan *loading polytetrafluoroethylene* (PTFE) (5; 10; 15; 20 dan 25%), suhu sintering (300; 350 dan 400°C) dan *loading* karbon vulcan XC-72 (1; 2; 3; 4 dan 5 mg/cm²).

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian ini diharapkan mendapatkan komposisi *Polytetrafluoroethylene* (PTFE) dan Karbon Vulcan XC-72 yang terbaik dengan suhu pemanasan yang tepat untuk kinerja GDL yang maksimal dan memberikan informasi hubungan antara pengaruh sifat kehidrofobikan dan konduktivitas elektrik pada MPL terhadap kinerja GDL.

DAFTAR PUSTAKA

- Antxustegi, M. M., Pierna, A. R., & Ruiz, N. (2014). Chemical activation of Vulcan® XC72R to be used as support for NiNbPtRu catalysts in PEM fuel cells. *International Journal of Hydrogen Energy*, 39(8), 3978–3983. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2013.04.061>
- Baroutaji, A., Carton, J. G., Sajjia, M., Ramadan, M., & Olabi, A. G. (2021). Materials in PEM Fuel Cells. *Encyclopedia of Smart Materials*, 256–266. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815732-9.00134-0>
- Branco, C. M., El-kharouf, A., & Du, S. (2017). Materials for Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cells (PEMFCs): Electrolyte Membrane, Gas Diffusion Layers, and Bipolar Plates. In *Reference Module in Materials Science and Materials Engineering*. Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-803581-8.09261-4>
- Carrigy, N. B., Pant, L. M., Mitra, S., & Secanell, M. (2013). Knudsen Diffusivity and Permeability of PEMFC Microporous Coated Gas Diffusion Layers for Different Polytetrafluoroethylene Loadings. *Journal of The Electrochemical Society*, 160(2), F81–F89. <https://doi.org/10.1149/2.036302jes>
- Chen, T., Liu, S., Zhang, J., & Tang, M. (2019). Study on the characteristics of GDL with different PTFE content and its effect on the performance of PEMFC. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 128, 1168–1174. <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2018.09.097>
- 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>
- Edition, S., & Virginia, W. (1989). Fuel cell handbook. *Choice Reviews Online*, 26(11), 26-6292-26–6292. <https://doi.org/10.5860/choice.26-6292>
- Fontana, M., Ramos, R., Morin, A., & Dijon, J. (2021). Direct growth of carbon nanotubes forests on carbon fibers to replace microporous layers in proton exchange membrane fuel cells. *Carbon*, 172, 762–771. <https://doi.org/10.1016/j.carbon.2020.10.049>
- Guaitolini, S. V. M., & Fardin, J. F. (2018). Fuel Cells: History (Short Remind), Principles of Operation, Main Features, and Applications. *Advances in Renewable Energies and Power Technologies*, 2, 123–150. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813185-5.00013-9>
- 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>

- Hoogers, G. (2002). Fuel cell technology handbook. In *Fuel Cell Technology Handbook*. <https://doi.org/10.1243/095440703321645124>
- Huang, J., Li, Z., Liaw, B. Y., & Zhang, J. (2016). Graphical analysis of electrochemical impedance spectroscopy data in Bode and Nyquist representations. *Journal of Power Sources*, 309, 82–98. <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2016.01.073>
- Huang, K., Sasaki, K., Adzic, R. R., & Xing, Y. (2012). Increasing Pt oxygen reduction reaction activity and durability with a carbon-doped TiO₂ nanocoating catalyst support. *Journal of Materials Chemistry*, 22(33), 16824–16832. <https://doi.org/10.1039/c2jm32234j>
- Ismail, M. S., Damjanovic, T., Ingham, D. B., Ma, L., & Pourkashanian, M. (2010). Effect of polytetrafluoroethylene-treatment and microporous layer-coating on the in-plane permeability of gas diffusion layers used in proton exchange membrane fuel cells. *Journal of Power Sources*, 195(19), 6619–6628. <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2010.04.036>
- Ito, H., Heo, Y., Ishida, M., Nakano, A., Someya, S., & Munakata, T. (2017). Application of a self-supporting microporous layer to gas diffusion layers of proton exchange membrane fuel cells. *Journal of Power Sources*, 342, 393–404. <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2016.12.064>
- Koresawa, R., & Utaka, Y. (2014). Improvement of oxygen diffusion characteristic in gas diffusion layer with planar-distributed wettability for polymer electrolyte fuel cell. *Journal of Power Sources*, 271, 16–24. <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2014.05.151>
- Lee, H. K., Park, J. H., Kim, D. Y., & Lee, T. H. (2004). A study on the characteristics of the diffusion layer thickness and porosity of the PEMFC. *Journal of Power Sources*, 131(1–2), 200–206. <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2003.12.039>
- Ma'fur, H., & Widiarsa, F. (2016). Fuel Cell Sebagai Sumber Energi Listrik Alternatif Pengisi Baterai Dengan Pengendali Panas. *Transmisi*, 12(1), 45–54.
- Majlan, E. H., Rohendi, D., Daud, W. R. W., Husaini, T., & Haque, M. A. (2018). Electrode for proton exchange membrane fuel cells: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 89(June 2017), 117–134. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.03.007>
- Manahan, M. P., Hatzell, M. C., Kumbur, E. C., & Mench, M. M. (2011). Laser perforated fuel cell diffusion media. Part I: Related changes in performance and water content. *Journal of Power Sources*, 196(13), 5573–5582. <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2011.01.014>
- Moazeni, F., & Khazaei, J. (2020). Electrochemical optimization and small-signal

- analysis of grid-connected polymer electrolyte membrane (PEM) fuel cells for renewable energy integration. *Renewable Energy*, 155, 848–861. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.03.165>
- Nam, J. H., Lee, K. J., Hwang, G. S., Kim, C. J., & Kaviany, M. (2009). Microporous layer for water morphology control in PEMFC. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 52(11–12), 2779–2791. <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2009.01.002>
- Omrani, R., & Shabani, B. (2017). Gas diffusion layer modifications and treatments for improving the performance of proton exchange membrane fuel cells and electrolyzers: A review. *International Journal of Hydrogen Energy*, 42(47), 28515–28536. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2017.09.132>
- Park, S., Lee, J. W., & Popov, B. N. (2008). Effect of PTFE content in microporous layer on water management in PEM fuel cells. *Journal of Power Sources*, 177(2), 457–463. <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2007.11.055>
- Pramono, A., & Zulfia, A. (2016). Konduktifitas Listrik Komposit Polimer Polipropilena/Karbon Untuk Aplikasi Pelat Bipolar Fuel Cell. *Setrum: Sistem Kendali-Tenaga-Elektronika-Telekomunikasi-Komputer*, 1(1), 46. <https://doi.org/10.36055/setrum.v1i1.446>
- Rezaei Niya, S. M., & Hoorfar, M. (2013). Study of proton exchange membrane fuel cells using electrochemical impedance spectroscopy technique - A review. *Journal of Power Sources*, 240, 281–293. <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2013.04.011>
- Rohendi, D., & Adnan, Y. (2010). Pembuatan Elektroda Fuel Cell dengan Metode Elektrodeposisi Menggunakan Katalis Pt-Cr/C dan Pt/C dan Karakterisasinya. *Jurnal Penelitian Sains*, 13(2), 13206.
- Rohendi, D., Majlan, E. H., Mohamad, A. B., Daud, W. R. W., Kadhum, A. A. H., & Shyuan, L. K. (2014). Effect of PTFE content and sintering temperature on the properties of a fuel cell electrode backing layer. *Journal of Fuel Cell Science and Technology*, 11(4), 1–6. <https://doi.org/10.1115/1.4026932>
- Rohendi, D., Majlan, E. H., Mohamad, A. B., Daud, W. R. W., Kadhum, A. A. H., & Shyuan, L. K. (2015). Effects of temperature and backpressure on the performance degradation of MEA in PEMFC. *International Journal of Hydrogen Energy*, 40(34), 10960–10968. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2015.06.161>
- Rohendi, D., Majlan, E. H., Mohamad, A. B., Shyuan, L. K., & Raharjo, J. (2016). Comparison of The Performance of Proton Exchange Membrane Fuel Cell (PEMFC) Electrodes with Different Carbon Powder Content and Methods of Manufacture. *Indonesian Journal of Fundamental and Applied Chemistry*, 1(3), 61–66. <https://doi.org/10.24845/ijfac.v1.i3.61>

- Safitri, I. A., Rudiyanto, B., Nursalim, A., & Hariono, B. (2016). Uji Kinerja Smart Gried Fuel Cell Tipe Proton Exchange Membran (PEM) Dengan Penambahan Hidrogen. *Jurnal Ilmiah Inovasi*, 16(1). <https://doi.org/10.25047/jii.v16i1.2>
- Schweiss, R., Steeb, M., Wilde, P. M., & Schubert, T. (2012). Enhancement of proton exchange membrane fuel cell performance by doping microporous layers of gas diffusion layers with multiwall carbon nanotubes. *Journal of Power Sources*, 220, 79–83. <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2012.07.078>
- Sharaf, S. M. (2020). Smart conductive textile. In *Advances in Functional and Protective Textiles*. LTD. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-820257-9.00007-2>
- Sitanggang, R. (2018). Pemetaan dan Analisis Penelitian Pengurangan Tebal Lapisan film pada Lapisan diffusi gas PEM Fuel Cell. *Eksergi*, 15(2), 59. <https://doi.org/10.31315/e.v15i2.2453>
- Sitorus, B., Suendo, V., & Hidayat, F. (2011). Sintesis Polimer Konduktif sebagai Bahan Baku untuk Perangkat Penyimpan Energi Listrik. *Jurnal ELKHA*, 3(1), 43–47.
- Sun, J., Guo, T., Deng, H., Jiao, K., & Huang, X. (2015). Effect of electrode variable contact angle on the performance and transport characteristics of passive direct methanol fuel cells. *International Journal of Hydrogen Energy*, 40(33), 10568–10587. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2015.06.085>
- Syarif, N., Rohendi, D., Nanda, A. D., Sandi, M. T., & Sihombing, D. S. W. B. (2022). Gas diffusion layer from Binchotan carbon and its electrochemical properties for supporting electrocatalyst in fuel cell. *AIMS Energy*, 10(2), 292–305. <https://doi.org/10.3934/energy.2022016>
- Tang, H., Wang, J., Yin, H., Zhao, H., Wang, D., & Tang, Z. (2015). Growth of polypyrrole ultrathin films on mos2 monolayers as high-performance supercapacitor electrodes. *Advanced Materials*, 27(6), 1117–1123. <https://doi.org/10.1002/adma.201404622>
- Tanuma, T., & Kinoshita, S. (2012). Impact of gas diffusion layers (GDLs) on MEA performance in PEFCs. *Energy Procedia*, 28, 12–19. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2012.08.035>
- Thliza, B. A., Moses, E., & Shanu, B. U. (2020). Electrochemical Impedance Spectroscopy (EIS) Study of a Dye Extract. *Chemical Science International Journal*, March 2020, 1–8. <https://doi.org/10.9734/csji/2020/v29i330165>
- Vijay, R., Seshadri, S. K., & Haridoss, P. (2011). Gas diffusion layer with PTFE gradients for effective water management in PEM fuel cells. *Transactions of the Indian Institute of Metals*, 64(1–2), 175–179.

<https://doi.org/10.1007/s12666-011-0034-4>

- Wicaksono, M. A., Noerochim, L., & Purniawan, A. (2021). Analisis Pengaruh Variasi Rasio Berat Nafion/Karbon pada Lapisan Katalis Membrane Electrode Assembly terhadap Performa Elektrokimia PEM Fuel Cell (PEMFC). *Jurnal Teknik ITS*, 10(2). <https://doi.org/10.12962/j23373539.v10i2.63997>
- Wisojodharmo, L. A., Arti, D. K., & Dewi, E. L. (2014). Karakterisasi Grafit Matriks Polistiren Sebagai Material untuk Separator Proton Exchange Membrane Fuel Cell (Lies A.Wisojodharmo). *Indonesian Journal of Materials Science*, 14(2), 103–107.
- Yoon, G. H., Park, S. B., Kim, E. H., Oh, M. H., Cho, K. S., Jeong, S. W., Kim, S., & Park, Y. Il. (2009). Novel hydrophobic coating process for gas diffusion layer in PEMFCs. *Journal of Electroceramics*, 23(2–4), 110–115. <https://doi.org/10.1007/s10832-007-9321-1>
- Zhou, Z., Zholobko, O., Wu, X. F., Aulich, T., Thakare, J., & Hurley, J. (2021). Polybenzimidazole-based polymer electrolyte membranes for high-temperature fuel cells: Current status and prospects. *Energies*, 14(1). <https://doi.org/10.3390/en14010135>