

**PEMBUATAN DAN UJI KINERJA
MEMBRANE ELECTRODE ASSEMBLY (MEA) DENGAN KATALIS Pd-Ni/C
PADA PROTON EXCHANGE MEMBRANE FUEL CELL (PEMFC)**

SKRIPSI

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



Oleh:

DILLA NURSYAFITRI

08031181722002

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

2021

HALAMAN PENGESAHAN

**PEMBUATAN DAN UJI KINERJA
MEMBRANE ELECTRODE ASSEMBLY (MEA) DENGAN KATALIS Pd-Ni/C
PADA PROTON EXCHANGE MEMBRANE FUEL CELL (PEMFC)**

SKRIPSI

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

Oleh :

DILLA NURSYAFITRI

09031181722002

Indralaya, 20 Mei 2021

Pembimbing I



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

Pembimbing II



**Dr. Desnelli, M.Si
NIP. 196912251997022001**



HALAMAN PERSETUJUAN

Karya tulis ilmiah berupa skripsi ini dengan judul "Pembuatan dan Uji Kinerja Membrane Electrode Assembly (MEA) dengan Katalis Pd-Ni/C pada Proton Exchange Membrane Fuel Cell (PEMFC)" telah dipertahankan di hadapan Tim Penguji Sidang Sarjana Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Sriwijaya pada Tanggal 3 Mei 2021 dan telah diperbaiki, diperiksa serta disetujui sesuai masukan yang diberikan.

Indralaya, 20 Mei 2021

Ketua:

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



Anggota:

2. **Dr. Desnelli, M.Si**
NIP. 196912251997022001
3. **Dr. Nurlisa Hidayati**
NIP. 197211092000032001
4. **Fahma Riyanti, M.Si**
NIP. 197204082000032001
5. **Widia Purwaningrum, M.Si**
NIP. 197304031999032001



Mengetahui,



PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama Mahasiswa : Dilla Nursyafitri
NIM : 08031181722002
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, 20 Mei 2021

Penulis



Dilla Nursyafitri

NIM. 08031181722002

HALAMAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

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

Nama Mahasiswa : Dilla Nursyafitri
NIM : 08031181722002
Fakultas/Jurusan : MIPA/Kimia
Jenis Karya : Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, saya menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Sriwijaya “Pembuatan dan Uji Kinerja *Membrane Electrode Assembly (MEA)* dengan Katalis Pd-Ni/C pada *Proton Exchange Membrane Fuel Cell (PEMFC)*”. 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, 20 Mei 2021

Yang menyatakan,



Dilla Nursyafitri

NIM. 08031181722002

SUMMARY

SYNTHESIS AND PERFORMANCE TEST MEMBRANE ELECTRODE ASSEMBLY (MEA) USING CATALYST Pd-Ni/C FOR PROTON EXCHANGE MEMBRANE FUEL CELL (PEMFC)

Dilla Nursyafitri: Supervised by Dr. Dedi Rohendi, M.T.
and Dr. Desnelli, M.Si.

Chemistry, Faculty of Mathematic and Natural Sciences, Sriwijaya University xi+
68 pages, 11 pictures, 4 tables, 6 attachments

The synthesis of Pd-Ni/C catalyst is an effort to reduce the use of Pt on the electrodes. The Pd-Ni/C catalyst is used as an anode catalyst's were tested performance Membrane Electrode Assembly (MEA) for Proton Exchange Membrane Fuel Cell (PEMFC) application. The catalyst prepared by impregnating $\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ into Pd/C with total loading 0.5 mg/cm^2 . The Pd-Ni/C anode with ratio of Pd:Ni 100:0 ; 75:25 ; 50:50 ; 25:75 ; 0:100 and Pt/C cathode has been created. Membran Electroda Assemby (MEA) was made by combining Pd-Ni/C and Pt/C with nafion membrane 212. Electrodes were characterized using X-Ray Diffraction (XRD) the Cyclic Voltammetry (CV) and the Electrochemical Impedance Spectroscopy (EIS) method. The diffractogram of Pd-Ni/C depicted carbon's peak at $2\theta = 26.4^\circ$, palladium's peak at $2\theta = 41^\circ$ with lower intensity. Significant peak for mixing of palladium and nickel in the Pd-Ni/C electrode was not detected on XRD spectra. According to the CV data, the highest value of ECSA obtained on Pd-Ni/C 100:0 as $1501.06 \text{ cm}^2/\text{g}$. Simillary, electrically conductivity of electrode also obtained highest results on Pd-Ni/C 100:0 as $0.3166 \times 10^{-2} \text{ S/cm}$. Performance test showing optimum OCV (Open Circuit Voltage) on Pd-Ni/C 100:0 with constant temperature at 25°C as 0.88 V. Maximum power density 9.716 mW/cm^2 at a density current 28 mA/cm^2 . Thereafter, the voltage value on I-V curve result of Pd-Ni/C 100:0 achieved up to 0.638 V at a current density of 10.8 mA/cm^2 . According to the OCV, I-V and I-P performance obtained highest results MEA on Pd-Ni/C 100:0.

Keywords : Catalyst, Impregnation, MEA, PEMFC, Palladium, Nickel
Citation : 72 (2010-2021)

RINGKASAN

PEMBUATAN DAN UJI KINERJA *MEMBRANE ELECTRODE ASSEMBLY (MEA) DENGAN KATALIS Pd-Ni/C PADA PROTON EXCHANGE MEMBRANE FUEL CELL (PEMFC)*

Dilla Nursyafitri: Dibimbing oleh Dr. Dedi Rohendi, M.T.
dan Dr. Desnelli, M.Si.

Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Sriwijaya.
xi + 68 halaman, 11 gambar, 4 tabel, 6 lampiran

Pembuatan katalis Pd-Ni/C dilakukan sebagai upaya mengurangi pemakaian Pt pada elektroda. Katalis Pd-Ni/C digunakan sebagai katalis pada anoda yang selanjutnya dilakukan uji kinerja *Membrane Electrode Assembly (MEA)* pada aplikasi *Proton Exchange Membrane Fuel Cell (PEMFC)*. Katalis dibuat dengan metode impregnasi $\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ke dalam Pd/C dengan loading total 0.5 mg/cm^2 . Elektroda Pd-Ni/C dibuat dengan variasi Pd:Ni 100:0 ; 75:25 ; 50:50 ; 25:75 ; 0:100 yang diletakkan pada sisi anoda serta dilakukan pembuatan lima elektroda Pt/C 12% yang akan ditempatkan pada sisi katoda. *Membran Electrode Assembly (MEA)* dibuat dengan menggabungkan elektroda Pd-Ni/C dan Pt/C dengan menggunakan membran nafion 212. Elektroda dikarakterisasi menggunakan *X-Ray Diffraction (XRD)*, metode *Cyclic Voltammetry (CV)* dan metode *Electrochemical Impedance Spectroscopy (EIS)*. Hasil karakterisasi XRD pada elektroda Pd-Ni/C menunjukkan puncak karbon pada sudut $2\theta = 26.4^\circ$, puncak palladium ada pada sudut $2\theta = 41^\circ$ dengan intensitas rendah. Campuran palladium dan nikel tidak menunjukkan puncak nikel yang signifikan pada spektra XRD elektroda Pd-Ni/C. Berdasarkan data karakterisasi CV, dihasilkan nilai ECSA tertinggi ada pada elektroda Pd-Ni/C dengan Pd:Ni 100:0 sebesar $1501.06 \text{ cm}^2/\text{g}$. Uji konduktivitas elektrik elektroda didapatkan nilai terbesar ada pada variasi Pd:Ni 0:100 dengan nilai konduktivitas sebesar $0.3166 \times 10^{-2} \text{ S/cm}$. Hasil uji MEA diperoleh nilai OCV (*Open Circuit Voltage*) tertinggi pada Pd-Ni/C 100:0 dengan temperatur konstan 25°C sebesar 0.88 V dan juga menghasilkan densitas daya maksimum sebesar 9.716 mW/cm^2 pada densitas arus 28 mA/cm^2 . Nilai tegangan tertinggi pada kurva I-V dihasilkan oleh MEA dengan elektroda Pd-Ni/C 100:0 sebesar 0.638 V pada densitas arus sebesar 10.8 mA/cm^2 . Berdasarkan hasil pengujian kinerja MEA berupa data OCV, kurva I-V serta kurva I-P diperoleh MEA terbaik pada Pd-Ni/C = 100:0.

Kata Kunci : Katalis, Impregnasi, MEA, PEMFC, Palladium, Nikel
Sitasi : 72 (2010-2021)

HALAMAN PERSEMBAHAN

- ❖ *Sebaik-baik manusia adalah yang paling bermanfaat bagi manusia (HR. at-Thabrani).*
- ❖ *Jadikanlah akhirat di hatimu, dunia di tanganmu dan kematian di pelupuk matamu (Imam Syafii).*

Skripsi ini sebagai tanda syukurku kepada:

- ✓ Allah SWT
- ✓ Nabi Muhammad SAW

Dan kupersembahkan kepada:

- ✓ Ibu, ayah dan adikku tercinta yang selalu mendoakan dan memberikan semangat serta dukungan
- ✓ Seluruh keluarga besarku
- ✓ Pembimbing dan sahabat-sahabatku
- ✓ Almamaterku (Universitas Sriwijaya)

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur hanyalah milik Allah SWT, kita memujinya, memohon ampunan dan meminta pertolongan kepada-Nya dan pada akhirnya penulis dapat menyelesaikan penulisan skripsi yang berjudul: “Pembuatan dan Uji Kinerja *Membrane Electrode Assembly* (MEA) dengan Katalis Pd-Ni/C pada *Proton Exchange Membrane Fuel Cell* (PEMFC)”. Skripsi ini dibuat sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana sains pada Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Jurusan Kimia Universitas Sriwijaya.

Proses penyusunan skripsi ini tidak terlepas dari berbagai rintangan, mulai dari pengumpulan literatur, penelitian, pengumpulan data dan sampai pada pengolahan data maupun dalam tahap penulisan. Namun dengan kesabaran dan ketekunan yang dilandasi dengan rasa tanggung jawab selaku mahasiswa dan juga bantuan dari berbagai pihak, baik material maupun moril, akhirnya selesai sudah penulisan skripsi ini. Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Bapak **Dr. Dedi Rohendi, M.T** dan Ibu **Dr. Desnelli, M.Si** yang telah banyak memberikan bimbingan, bantuan, motivasi, saran dan petunjuk kepada penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.

Penulis juga menyampaikan terima kasih kepada:

1. Bapak Hermansyah, Ph.D selaku Dekan FMIPA Universitas Sriwijaya
2. Bapak Dr. Hasanudin, M.Si. selaku Ketua Jurusan Kimia FMIPA Universitas Sriwijaya
3. Bapak Dr. Addy Rachmat, M.Si. selaku sekretaris Jurusan Kimia FMIPA Universitas Sriwijaya
4. Bapak Drs. Dasril Basir, M.Si. selaku dosen Pembimbing Akademik
5. Ibu Dr. Nurlisa Hidayati, M.Si., Fahma Riyanti, M.Si., dan Widia Purwaningrum, M.Si. selaku pembahas dan penguji sidang sarjana.
6. Seluruh Dosen FMIPA Kimia Universitas Sriwijaya yang telah memberikan ilmu, mendidik dan membimbing selama masa kuliah.
7. Ibu dan ayah yang selalu mendoakan dan senantiasa memberikan dukungan serta semangat dan adikku tercinta M. David Safitra yang selalu menjadi penyemangat di kala lelah.

8. Keluarga Besarku yang selalu mendoakan dan senantiasa memberikan dukungan dan semangat.
9. Kak Dwi Hawa Yulianti, M.Si yang telah mengajarkan arti sabar dan pengingat bahwa di dunia ini bukan perkara durasi, tetapi kontribusi. Terkait apa-apa saja yang dapat kita lakukan untuk orang lain saat berdiskusi dengan kakak. Semoga apa yang kakak ajarkan menjadi motivasi kami sebagai adik-adiknya untuk lebih dalam memaknai hidup.
10. Team PUR 2017 (Ayu, Oik, Roma) pada akhirnya walaupun kita menemui banyak rintangan, kita tetap bisa mencapai titik ini. Disini kita merasakan banyak suka dan duka. Kita telah mengukir banyak cerita disini. Terima kasih semuanya. Semoga kita selalu mendapat kesehatan dan kesempatan agar bisa bertemu lagi di lain waktu. Sukses selalu.
11. Oik yang selalu menjadi pendengar dan pemberi masukan saat langkah terasa berat. Terima kasih sudah banyak memberikan arti sabar, telah banyak berjuang sejauh ini. Banyak suka dan duka yang telah kita lalui selama menempuh ranah Tugas Akhir ini. Kita bisa belajar banyak hikmah hidup saat kita bersama-sama. Semoga kita selalu diberikan kesehatan agar dapat berjumpa lagi di lain kesempatan.
12. Kak Reka, Kak Icha, Kak Dea dan Kak Wulan serta Team Labor PUR 17 (Vadia, Saum, Resti, Enggi, Indra) yang senantiasa memberikan semangat, dukungan, hiburan, bantuan selama penelitian. Semangat dan sukses selalu untuk kalian.
13. Cawa's Club (Mput, Cik, Sheli, Saum, Nyak dan Nafa) yang selalu menjadi tempat berbagi cerita ataupun sekedar mendengarkan, tempat berkeluh kesah dan tempat bercanda tawa. Senang mengenal kalian lebih jauh, saat menyatukan sudut pandang walau kadang tidak sefrekuensi. Terima kasih untuk semuanya. Sukses selalu untuk kalian, semoga kita bisa kumpul-kumpul lagi. Semangat!
14. Indi dan Bila yang selalu menghibur, selalu memberikan semangat, dukungan. Semoga urusan kalian selalu dimudahkan. Semangat dan sukses terus.
15. Sahabatku Ulfa Mayasari yang telah banyak membantu sejauh ini.

16. Rekan-rekan seperjuangan Kimia Angkatan 2017 terkhusus team Inti (Ramdan, Redo, Yana, She-she, Oik) juga Apres yang senantiasa memberikan semangat dan dukungan, semangat dan sukses selalu. Semoga kelak kita dapat berkumpul lagi, kalian orang-orang hebat.
17. Rekan-rekan selama di basecsamp (Ecak, Alfian, Redo, Shahibul) yang senantiasa memberikan bantuan dan semangat dalam menyelesaikan tugas akhir ini. Terima kasih bantuannya. Banyak pelajaran hidup yang didapat saat bersama kalian. Semoga sehat selalu agar kita dapat berkumpul lagi di lain waktu.
18. Para BPH COIN serta keluarga di HIMAKI yang senantiasa memberikan semangat dan dukungan. Pernah bersama-sama menjadikan sekret sebagai rumah kedua di saat perkuliahan teramat penat. Terima kasih atas kerjasamanya. Senang mengenal kalian. Semangat dan sukses.
19. Kakak-kakak tingkat Angkatan 2016, 2015, dan 2014, serta adik-adik tingkat Angkatan 2018 dan 2019 yang tidak bisa disebutkan satu persatu, yang selalu memberikan semangat dan dukungan.
20. Teman kostanku Kak Lisa Martira, Kak Una, Pipit yang selalu menjadi tempat berbagi cerita dan selalu membantu serta memberikan semangat dan dukungan.
21. Mbak Ade dan Kak Lisa yang telah banyak membantu sejak awal perkuliahan sampai saat ini. Terima kasih atas bantuannya. Semoga sehat selalu dan dimudahkan urusannya.
22. Kepada Mbak Novi dan Kak Cosiin selaku Admin Jurusan Kimia yang banyak membantu dalam proses perkuliahan hingga tugas akhir.
23. Rekan seperjuangan selama di SMA (Sulis, Pito, Master, Garyn) yang selalu menghibur dan masih ingin berbagi cerita walaupun kalian sudah jarang bertemu. Terima kasih telah banyak membantu dan menjadi pendengar yang baik. Semoga sehat selalu!
24. Rekan seperjuangan PERMATA di Universitas Gadjah Mada, Universitas Hassanudin dan Universitas Negeri Makassar yang senantiasa banyak memberikan dukungan dan mengajarkan banyak ilmu dan mengenal budaya baru. Senang bisa berdiskusi dan bertukar pikiran dengan kalian. Semoga di kemudian hari kita dapat bertemu kembali secara langsung.

25. Semua pihak tertentu yang telah membantu dan memberikan informasi baik secara langsung ataupun tidak sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian dan skripsi ini dengan baik.

Semoga bimbingan, ilmu, bantuan, dan masukan yang telah diberikan kepada penulis menjadi amal shaleh dan pahala yang setimpal dari Allah SWT. Semoga bantuan kalian menjadi kemudahan dalam menjalankan kehidupan yang dirahmati Allah SWT. Dengan kerendahan hati, penulis menyadari bahwa skripsi ini masih banyak kekurangan dan kesalahan, sehingga penulis sangat mengharapkan kritik dan saran dari pembaca. Akhir kata penulis mengucapkan terima kasih, semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi semua serta pengembangan ilmu kimia di masa yang akan datang.

Indralaya, Maret 2021

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
HALAMAN PERSETUJUAN	iii
PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH	iv
HALAMAN PERSETUJUAN PUBLIKASI	v
SUMMARY	vi
RINGKASAN	vii
HALAMAN PERSEMBAHAN	viii
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR TABEL	xvi
DAFTAR GAMBAR	xvii
DAFTAR LAMPIRAN	xviii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 <i>Fuel Cell</i>	4
2.2 Prinsip Kerja <i>Fuel Cell</i>	4
2.3 <i>Proton Exchange Membrane Fuel Cell</i> (PEMFC)	5
2.4 Katalis pada PEMFC	7
2.5 Pemanfaatan Pd-Ni/C Sebagai Katalis pada PEMFC.....	8
2.6 Impregnasi Katalis	8
2.7 Komponen Penyusun PEMFC.....	10
2.7.1 Plat Bipolar.....	10
2.7.2 <i>Membrane Electrode Assembly</i> (MEA)	11
2.7.3 Gasket	12
2.7.4 Plat Penutup (<i>End Plate</i>).....	13
2.8 Faktor Penentu Kinerja MEA (<i>Membrane Electrode Assembly</i>)	13
2.8.1 Elektroda	13

2.8.2	Kondisi Operasi Pembuatan MEA	14
2.9	Karakterisasi Elektroda.....	14
2.9.1	Karakterisasi Elektroda dengan <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD).....	14
2.9.2	Penentuan Sifat Elektrokimia dengan Metode CV.....	14
2.9.3	Penentuan Konduktivitas Elektrik dengan Metode EIS.....	16
2.10	Uji Kinerja MEA	16
2.10.1	Pengukuran Nilai <i>Open Circuit Voltage</i> (OCV), Kurva I-V serta I-P..	16
BAB III METODOLOGI PENELITIAN		18
3.1	Waktu dan Tempat.....	18
3.2	Alat dan Bahan	18
3.2.1	Alat.....	18
3.2.2	Bahan	18
3.3	Prosedur Penelitian	18
3.3.1	Pembuatan Katalis Pd-Ni/C	18
3.3.2	Pembuatan Elektroda	19
3.3.3	Karakterisasi Elektroda Pd-Ni/C	20
3.3.3.1	Penentuan Sudut Difraksi Menggunakan XRD	20
3.3.3.2	Penentuan Sifat Elektrokimia Menggunakan Metode CV	20
3.3.3.3	Pengukuran Konduktivitas Elektrik Menggunakan Metode EIS	20
3.3.4	Pembuatan <i>Membrane Electrode Assembly</i> (MEA).....	21
3.5	Pengujian Kinerja pada <i>Membrane Electrode Assembly</i> (MEA).....	21
3.6	Analisis Data	21
3.6.1	Analisis Elektroda dengan XRD	21
3.6.2	Analisis Nilai ECSA dengan Metode CV	21
3.6.3	Analisis Konduktivitas Elektrik dengan Metode EIS	22
3.6.4	Analisis Uji Kinerja MEA Terhadap PEMFC.....	22
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....		17
4.1	Pembuatan Katalis Pd-Ni/C dengan Metode Impregnasi	23
4.2.	Pembuatan Elektroda dengan Metode <i>Spraying</i> dan Pembuatan MEA	23
4.3.	Karakterisasi Elektroda.....	24
4.3.1	Karakterisasi Elektroda Pd-Ni/C dengan XRD	24
4.3.2	Pengukuran Nilai ECSA Menggunakan Metode CV	26
4.3.3	Karakterisasi Elektroda Menggunakan Metode EIS.....	29
4.3.4	Nilai Konduktivitas Elektrik Pada Elektroda Pd-Ni/C	30

4.4	Pengujian Kinerja MEA.....	32
4.4.1	Pengukuran <i>Open Circuit Voltage</i> (OCV).....	33
4.4.2	Pengujian Kinerja I-V pada MEA	33
4.4.3	Pengujian Kinerja I-P pada MEA.....	34
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....		36
5.1.	Kesimpulan.....	36
5.2.	Saran	36
DAFTAR PUSTAKA.....		37

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 1. Perbandingan Massa Pd dan Ni pada Pd-Ni/C.....	19
Tabel 2. Perhitungan Nilai ESCA Elektroda.....	28
Tabel 3. Nilai Konduktivitas Elektroda.....	31
Tabel 4. Data OCV Pengamatan MEA	33

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 1. Mekanisme Dasar Sistem PEMFC.....	5
Gambar 2. Skema Kerja PEMFC	6
Gambar 3. Skema Stak PEMFC.....	10
Gambar 4. Contoh Skema Voltammogram Siklik	15
Gambar 5. Skema Diagram Galvanostat	15
Gambar 6. Kurva Polarisasi Fuel Cell.....	17
Gambar 7. Difraktogram Elektroda dengan Katalis Pd-Ni/C	25
Gambar 8. Voltammogram Elektroda	27
Gambar 9. Kurva Nyquist Elektroda.....	30
Gambar 10. Kurva I-V MEA	34
Gambar 11. Kurva I-P MEA.....	34

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran 1. Skema Kerja.....	43
Lampiran 2. Kurva Voltammogram.....	45
Lampiran 3. Perhitungan Kandungan Pd-Ni/C dan Elektroda	48
Lampiran 4. Perhitungan Nilai ECSA Elektroda.....	49
Lampiran 5. Kurva Nyquist dan Nilai Konduktivitas Elektroda	58
Lampiran 6. Gambar Alat dan Penelitian.....	63

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Energi alternatif mulai mendapatkan perhatian penting dalam pemenuhan sumber energi karena semakin menipisnya bahan bakar fosil. Hal ini membutuhkan percobaan dan penelitian yang signifikan untuk mewujudkan sumber energi baru (Taner, 2018). *Fuel cell* menghasilkan energi alternatif yang memberikan harapan dan memadai secara kuantitas serta ramah lingkungan. *Fuel cell* adalah perangkat elektrokimia yang dapat secara langsung mengubah energi kimia dalam bahan bakar menjadi energi listrik (Rohendi et al., 2013, 2015). Selain itu, sistem *fuel cell* memiliki desain yang fleksibel. Terdapat beberapa *fuel cell* yang berbasis elektrolit atau bahan bakar utama yaitu *Proton Exchange Membrane Fuel Cells* (PEMFC), *Solid Oxide Fuel Cells* (SOFC), *Phosphoric Acid Fuel cells* (PAFC), *Molten Carbonate Fuel Cells* (MCFC), *Alkaline Fuel Cells* (AFC), *Direct Methanol Fuel Cells* (DMFC) dan *Zinc Air Fuel Cells* (ZAFC) (Moazeni and Khazaei, 2020).

PEMFC adalah salah satu alternatif pemasok energi terbesar untuk lingkungan dan sedang dalam pengembangan. PEMFC menerima banyak perhatian untuk pembakaran bahan bakar fosil yang efisien dari sumber energi terbarukan, hidrogen yang dihasilkan dari tenaga air. PEMFC adalah cara hemat energi untuk menyediakan sistem perumahan dan kendaraan. Manfaat utama PEMFC adalah: Bekerja dengan konsumsi energi yang tinggi (dibandingkan baterai) dan energi lingkungan untuk menjaga polusi (Wisojodharmo et al., 2012).

Komponen terpenting dalam PEMFC adalah *Membrane Electrode Assembly* (MEA). Umumnya, tiga komponen seperti katoda, anoda dan membran polimer digabungkan membentuk MEA sebagai inti reaksi di PEMFC. MEA terdiri dari sebuah katoda dan anoda dengan membran elektrolit yang diapit di kedua sisinya (Baroutaji et al., 2016). Karena MEA memiliki fungsi yang sangat penting, perhatian khusus harus diberikan pada MEA untuk menghasilkan kerapatan arus tinggi dan resistansi tinggi (Rohendi et al., 2015).

Elektroda harus dilapisi dengan *backing layer* sebagai lapisan penyokong agar reaksi yang berlangsung lebih cepat di dalam elektroda (Su et al., 2010).

Backing layer yang dibuat harus memenuhi persyaratan sebagai berikut: lentur tapi kuat, berpori, tebal tidak lebih dari 1 mm serta hidrofobik tapi konduktif. Lapisan penyokong hidrofobik dibentuk dengan menambahkan emulsi politetrafluoroetilen (PTFE) dan konduktivitas lapisan pendukung didukung oleh bahan karbon konduktif. Hidrofobisitas diperlukan untuk membuat *backing layer* kedap air, dan konduktivitas diperlukan karena lapisan penyokong ini juga berfungsi sebagai konduktor elektron. Selain itu, *backing layer* memiliki fungsi sebagai substrat dan penahan elektroda, serta lapisan difusi gas yang berfungsi sebagai pendifusi gas (Rohendi, 2010). Dalam pembuatan katalis Pd-Ni/C, karbon berfungsi sebagai *backing layer*. Karbon dipilih karena memiliki nilai konduktivitas yang tinggi. Karbon yang digunakan adalah karbon vulkan.

Katalis yang digunakan dalam elektroda *fuel cell* umumnya katalis berbasis platina yang cukup mahal. Selain katalis platina, pemakaian logam golongan transisi lain selain platina dilaporkan dapat digunakan. Berdasarkan literatur yang ada, logam yang dapat digunakan sebagai pengganti Pt adalah palladium, ruthenium, rhodium, iridium, dan osmium (Yang *et al.*, 2012). Penggunaan Pd dapat ditambahkan paduan logam lain yakni Au, Co, Cu, Fe, Mo, Ni, Sn, W, Os, Rh, Bi serta Ru (Nuriana, 2017). Penambahan logam ini diketahui dapat meningkatkan aktivitas katalitik dan mengurangi pemakaian logam murni. Selain itu, penambahan paduan pada katalis lebih tahan terhadap oksidasi dibandingkan logam murni (Ren *et al.*, 2019).

Pada penelitian ini katalis Pd dipadukan dengan logam transisi lain yaitu nikel dengan metode impregnasi. Metode impregnasi katalis dipilih karena prosesnya yang sederhana dan lebih efisien dalam penggunaan bahan dan biaya. Penggunaan logam nikel sebagai katalis elektroda cukup menjanjikan karena memiliki nilai konduktivitas yang lebih tinggi daripada platina yaitu sebesar $14,6 \times 10^6 / \text{cm } \Omega$. Nilai konduktivitas dari platina yaitu $9,4 \times 10^6 / \text{cm } \Omega$. Nilai konduktivitas dari palladium $10^7 / \Omega \text{ cm}$ (Nuriana, 2017).

Pada penelitian ini dilakukan pembuatan elektroda dan pengujian kinerja MEA pada PEMFC dengan menggunakan katalis paduan antara palladium dan nikel yang berbasis karbon. Elektroda yang dihasilkan untuk membuat MEA sebelumnya dilakukan karakterisasi dengan menggunakan XRD, penentuan luas

permukaan aktif katalis pada elektroda menggunakan metode *Cyclic Voltammetry* (CV), penentuan nilai konduktivitas elektrik menggunakan metode *Electrochemical Impedance Spectroscopy* (EIS) serta kurva polarisasi, nilai OCV untuk mengetahui kinerja MEA.

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana pembuatan katalis Pd-Ni/C dengan perbandingan Pd dan Ni 100:0 75:25 50:50 25:75 0:100 menggunakan metode impregnasi serta karakterisasinya menggunakan analisis XRD, pengukuran kinerja elektrokimia elektroda menggunakan metode *Cyclic Voltammetry* (CV) serta metode *Electrochemical Impedance Spectroscopy* (EIS)?
2. Bagaimana pembuatan elektroda Pd-Ni/C dengan perbandingan Pd dan Ni 100:0 75:25 50:50 25:75 0:100 dan elektroda Pt/C?
3. Bagaimana kinerja MEA dengan katalis Pd-Ni/C pada peralatan PEMFC?

1.3 Tujuan Penelitian

1. Sintesis katalis Pd-Ni/C dengan perbandingan Pd dan Ni 100:0 75:25 50:50 25:75 0:100 menggunakan metode impregnasi serta karakterisasinya menggunakan analisis XRD, pengukuran kinerja elektrokimia elektroda dengan menggunakan metode *Cyclic Voltammetry* (CV) serta metode *Electrochemical Impedance Spectroscopy* (EIS).
2. Pembuatan elektroda Pd-Ni/ C dengan perbandingan Pd dan Ni 100:0 75:25 50:50 25:75 0:100 dan elektroda Pt/C.
3. Melakukan uji kinerja MEA dengan katalis Pd-Ni/C pada peralatan PEMFC.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi mengenai katalis Pd-Ni/C sebagai katalis untuk PEMFC dan karakterisasinya, serta dapat mengurangi pemakaian dari platina (Pt) yang memiliki harga relatif lebih mahal sebagai katalis MEA untuk PEMFC.

DAFTAR PUSTAKA

- Alcaide, F. *et al.* 2011. Testing Of Carbon Supported Pd-Pt Electrocatalysts For Methanol Electrooxidation In Direct Methanol Fuel Cells. *International Journal of Hydrogen Energy*. 36(7): 4432–4439.
- Antolini, E. *et al.* 2011. Palladium-Based Electrodes: A Way To Reduce Platinum Content In Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cells. *Electrochimica Acta*. 56(5): 2299–2305.
- Azarof, L. V. 1960. *Introductions to Solids*. New York: Mc Graw Hill Company.
- Barat, W. O. B. 2019. Pengaruh Rasio $\text{LiB}_2\text{:TiO}_2$ dari Lembaran Polimer Elektrolit sebagai Pemisah terhadap Kinerja Elektrokimia Baterai Lithium-Ion Berbasis LTO. *Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi*. 22(4): 136–142.
- Baroutaji, A. *et al.* 2016. Materials in PEM Fuel Cells. *Reference Module in Materials Science and Materials Engineering*.
- Behari, P. *et al.* 2011. Performance Study Of Power Density In PEMFC For Power Generation From Solar Energy. *Renewable Energy*. 36(12): 3305–3312.
- Boaventura, M. and Mendes, A. 2010. Activation Procedures Characterization Of MEA Based On Phosphoric Acid Doped PBI Membranes. *International Journal of Hydrogen Energy*. 1(1): 1–12.
- Bojang, A. A. and Wu, H. S. 2020. Characterization Of Electrode Performance In Enzymatic Biofuel Cells Using Cyclic Voltammetry And Electrochemical Impedance Spectroscopy. *Catalysts*. 10(7): 1–20.
- Bruno, V. and Rouboa, A. 2012. Hydrogen-Fed PEMFC : Overvoltage Analysis During An Activation Procedure. *Journal of Electroanalytical Chemistry*. 67(1): 58–66.
- Bunaciu, A. A., Udriștioiu, E. gabriela and Aboul-Enein, H. Y. 2015. X-Ray Diffraction: Instrumentation and Applications. *Critical Reviews in Analytical Chemistry*. 45(4): 289–299.
- Chandan, A. *et al.* 2013. High Temperature (HT) Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cells (PEMFC) A Review. *Journal of Power Sources*. 231: 264–278.
- Chandran, P., Ghosh, A. and Ramaprabhu, S. 2018. High Performance Platinum-Free Oxygen Reduction Reaction and Hydrogen Oxidation Reaction Catalyst In Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cell. *Scientific Reports*. 8(1): 1–11.
- Chiodelli, G. and Malavasi, L. 2013. Electrochemical Open Circuit Voltage (OCV) Characterization of SOFC Materials. *Ionics*. 19(8): 1135–1144.
- Cho, Yoon Hwan *et al.* 2012. Performance Of Membrane Electrode Assemblies Using PdPt Alloy as Anode Catalysts In Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cell. *International Journal of Hydrogen Energy*. 37(7): 5884–5890.
- Coralli, A. *et al.* 2018. Fuel Cells, Science and Engineering of Hydrogen-Based Energy Technologies: Hydrogen Production and Practical Applications in

Energy Generation.

- Dewi, T. K., Mahdi, Novriansyah, T. 2016. Pengaruh Rasio Reaktan pada Impregnasi dan Suhu Reduksi Terhadap Karakter Katalis Kobalt/Zeolit Alam Aktif. *Jurnal Teknik Kimia*. 3(22): 34-42.
- Emmanuel, B. O., Barendse, P. and Chamier, J. 2018. Effect of Anode Stoichiometry and Back Pressure on the Performance of PEMFCs. *Power Africa*. 1–6.
- Feizabadi, A. 2019. *Shape-Controlled Nanoparticles as Effective Catalysts for Proton Exchange Membrane (PEM) Fuel Cells*. 2019th edn. Electronic Thesis and Dissertation Repository.
- Gouws, S. 2012. Voltammetric Characterization Methods for the PEM Evaluation of Catalysts. *Electrolysis*.
- Guaitolini, S. V. M. and 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.
- Hao, D. *et al.* 2016. An Improved Empirical Fuel Cell Polarization Curve Model Based on Review Analysis. *International Journal of Chemical Engineering*.
- Hou, Y. *et al.* 2014. AC Impedance Characteristics of A Vehicle PEM Fuel Cell Stack under Strengthened Road Vibrating Conditions. *International Journal of Hydrogen Energy*. 39(32): 18362–18368.
- Kahraman, H. and Orhan, M. F. 2017. Flow Field Bipolar Plates In A Proton Exchange Membrane Fuel Cell: Analysis & Modeling. *Energy Conversion and Management*. 133: 363–384.
- Kast, J. *et al.* 2017. Clean Commercial Transportation: Medium and Heavy Duty Fuel Cell Electric Trucks. *International Journal of Hydrogen Energy*. 42(7): 4508–4517.
- Kheirmand, M. and Asnafi, A. 2010. Analytic Parameter Identification Of Proton Exchange Membrane Fuel Cell Catalyst Layer Using Electrochemical Impedance Spectroscopy. *International Journal of Hydrogen Energy*. 36(20): 13266–13271.
- Kiyani, R., Rowshanzamir, S. and Parnian, M. J. 2015. Multi-walled Carbon Nanotubes Supported Palladium Nanoparticles. *Synthesis, Characterization and Catalytic Activity*. 2: 67–74.
- Kottayintavida, R. and Gopalan, N. K. 2020. Pd Modified Ni Nanowire as An Efficient Electro-Catalyst for Alcohol Oxidation Reaction. *International Journal of Hydrogen Energy*. 45(15): 8396–8404.
- Larbi, B. *et al.* 2012. Effect Of Porosity And Pressure On The PEM Fuel Cell Performance. *International Journal of Hydrogen Energy*. 1–8.
- Lee, K. *et al.* 2012. Development of A Galvanostatic Analysis Technique As An In-Situ Diagnostic Tool For PEMFC Single Cells and Stacks. *International Journal of Hydrogen Energy*. 37(7): 5891–5900.
- Lee, K. J., McCarthy, B. D. and Dempsey, J. L. 2019. On Decomposition, Degradation, and Voltammetric Deviation: The Electrochemist's Field

- Guide to Identifying Precatalyst Transformation. *Chemical Society Reviews*. 48(11): 2927–2945.
- Li, G. *et al.* 2014. Activity of Platinum/Carbon And Palladium/Carbon Catalysts Promoted by Ni₂P In Direct Ethanol Fuel Cells. *ChemSusChem*. 7(12): 3374–3381.
- Li, G. *et al.* 2015. Carbonation Effects On The Performance Of Alkaline Polymer Electrolyte Fuel Cells. *International Journal of Hydrogen Energy*. 40(20): 6655–6660.
- Liang, H. *et al.* 2015. Development Of Membrane Electrode Assembly for High Temperature Proton Exchange Membrane Fuel Cell by Catalyst Coating Membrane Method. *Journal of Power Sources*. 288: 121–127.
- Lin, P., Zhou, P. and Wu, C. W. 2010. A High Efficient Assembly Technique For Large Proton Exchange Membrane Fuel Cell Stacks: Part II . *Applications*. 195: 1383–1392.
- Lin, R. *et al.* 2020. High Durability Of Pt-Ni-Ir/C Ternary Catalyst Of PEMFC by Stepwise Reduction Synthesis. *Electrochimica Acta*. 330(xxxx):135-251.
- Mahmud, K. 2013. Fuel Cell and Renewable Hydrogen Energy to Meet Household Energy Demand 2. *Global Primary Energy Consumption*. 54: 97–104.
- Matin, M. A., Jang, J. H. and Kwon, Y. U. 2014. PdM Nanoparticles (M = Ni, Co, Fe, Mn) with High Activity and Stability in Formic Acid Oxidation Synthesized by Sonochemical Reactions. *Journal of Power Sources*. 262(1): 356–363.
- Moazeni, F. and 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.
- Nuriana, Y. 2017. Analisis Pengaruh Waktu Sputtering Pd Dan Ni Pada Sintesis Material Elektrokatalisis Berbahan Pd-Ni/Graphene Terhadap Unjuk Kerja Direct Methanol *Fuel cell* (DMFC). Surabaya: Insitut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Ogungbemi, E. *et al.* 2020. Selection Of Proton Exchange Membrane Fuel Cell For Transportation. *International Journal of Hydrogen Energy*. xxx: 1-13.
- Pandiyan, S. *et al.* 2013. Design and Analysis Of A Proton Exchange Membrane Fuel Cells (PEMFC). *Renewable Energy*. 49: 161–165.
- Randviir, E. P. and Banks, C. E. 2013. *Electrochemical Impedance Spectroscopy - an overview*: ScienceDirect Topics.
- Rego, R. *et al.* 2012. Development Of A Carbon Paper-Supported Pd Catalyst For PEMFC Application. *International Journal of Hydrogen Energy*. 37(8): 7192–7199.
- Ren, X. *et al.* 2019. Current Progress Of Pt And Pt-Based Electrocatalysts Used For Fuel Cells. *Sustainable Energy and Fuels*. 4(1): 15–30.

- Ribeiro, D. V., Souza, C. A. C. and Abrantes, J. C. C. 2015. Use Of Electrochemical Impedance Spectroscopy (EIS) To Monitoring The Corrosion Of Reinforced Concrete. *Revista IBRACON de Estruturas e Materiais*, 8(4): 529–546.
- Rohendi, D. Adnan, Y. 2010. Pembuatan Elektroda Fuel Cell dengan Metode Elektrodeposisi Menggunakan Katalis Pt-Cr/C dan Pt/C dan Karakterisasinya. 13(2): 28-32.
- Rohendi, D. *et al.* 2013. Characterization Of Electrodes And Performance Tests On Meas With Varying Platinum Content And Under Various Operational Conditions. *International Journal of Hydrogen Energy*. 38(22): 9431–9437.
- Rohendi, D. *et al.* 2015. Effects of temperature and backpressure on the performance degradation of MEA in PEMFC. *International Journal of Hydrogen Energy*. 40(34): 10960–10968.
- Rohendi, D. *et al.* 2016. Comparison of The Performance of Proton Exchange Membrane Fuel Cell (PEMFC) Electrodes with Different Carbon Powder Content and Methods of Manufacture. 61–66.
- Saeed, E. W. and Warkozek, E. G. 2015. Modeling and Analysis of Renewable PEM Fuel Cell System. *Energy Procedia*. 4:87–101.
- Salam, M. Abdus, Md Shehan Habib, Paroma Arefin, Kawsar Ahmed, Md Sahab Uddin, Tareq Hossain, and Nasrin Papri. 2020. Effect of Temperature on the Performance Factors and Durability of Proton Exchange Membrane of Hydrogen Fuel Cell: A Narrative Review. *Material Science Research India*. 17(2):179–91.
- Sandford, C. *et al.* 2019. A Synthetic Chemist’s Guide to Electroanalytical Tools for Studying Reaction Mechanisms. *Chemical Science*. 10(26): 6404–6422.
- Santos, M. C. L. *et al.* 2020. Effect Of Ni Content In Pd-Ni/C Anode Catalysts On Power And Methanol Co-Generation In Alkaline Direct Methane Fuel Cell Type. *Journal of Colloid and Interface Science*. 578: 390–401.
- Sapkota, P. *et al.* 2020. Planar Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cells: Powering Portable Devices From Hydrogen. *Sustainable Energy and Fuels*. 4(2): 439–468.
- Shahgaldi, S. *et al.* 2017. Development Of A Low Temperature Decal Transfer Method For The Fabrication Of Proton Exchange Membrane Fuel Cells. *International Journal of Hydrogen Energy*. 42(16): 11813–11822.
- Stern, A. G. 2018. A New Sustainable Hydrogen Clean Energy Paradigm. *International Journal of Hydrogen Energy*. 43(9): 4244–4255.
- Su, H. *et al.* 2010. High Performance Membrane Electrode Assembly With Ultra-Low Platinum Loading Prepared By A Novel Multi Catalyst Layer Technique. *International Journal of Hydrogen Energy*. 1–7.
- Sun, L., Ran, R. and Shao, Z. 2010. Fabrication And Evolution Of Catalyst-Coated Membranes by Direct Spray Deposition Of Catalyst Ink Onto Nafion Membrane at High Temperature. *International Journal of Hydrogen Energy*. 35(7): 2921–2925.

- Sun, X. *et al.* 2019. Composite Membranes For High Temperature PEM Fuel Cells And Electrolysers: A Critical Review. *Membranes*. 9(7):1-11.
- Taner, T. 2018. Energy And Exergy Analyze Of PEM Fuel Cell: A Case Study Of Modeling And Simulations. *Energy*. 143: 284–294.
- Wang, S. J. *et al.* 2011. Portable PEMFC Stack Using Sulfonated Poly (Fluorenyl Ether Ketone) Ionomer as Membrane. *International Journal of Hydrogen Energy*. 37(5): 4539–4544.
- Weber, A. Z., Balasubramanian, S. and Das, P. K. 2012. *Proton Exchange Membrane Fuel Cells, Advances in Chemical Engineering*.
- Wisojodharmo, L. A. *et al.* 2012. Pendahuluan Karakterisasi Grafit Matriks Polistiren Sebagai Material Untuk Separator Proton Exchange Membrane Fuel Cell. 103–107.
- Wu, F. *et al.* 2018. Degradation Of Silicone Rubbers As Sealing Materials For Proton Exchange Membrane Fuel Cells Under Temperature Cycling. *Polymers*. 10(5).
- Xi, P. *et al.* 2013. Facile Synthesis Of Pd-Based Bimetallic Nanocrystals and Their Application as Catalysts for Methanol Oxidation Reaction. *Nanoscale*, 5(13): 6124–6130.
- Yang, S. *et al.* 2012. A Facile Green Strategy For Rapid Reduction Of Graphene Oxide By Metallic Zinc. *RSC Advances*. 2(23): 8827–8832.
- Zhang, C. *et al.* 2020. A Comparative Study of Using Polarization Curve Models in Proton Exchange Membrane Fuel Cell Degradation Analysis. *Energies*. 13(15).
- Zhang, M., Yan, Z. and Xie, J. 2012. Core/Shell Ni-Pd Nanoparticles Supported on Mwcnts at Improved Electrocatalytic Performance for Alcohol Oxidation In Alkaline Media. *Electrochimica Acta*. 77: 237–243.
- Zheng, J., Zhou, S., Gu, S., Xu, B. and Yan, Y. 2016. Size-Dependent Hydrogen Oxidation and Evolution Activities on Supported Palladium Nanoparticles in Acid and Base. *Journal of The Electrochemical Society*. 163(6): 499-506
- Zhao, Y. *et al.* 2020. Reviews On The Effects Of Contaminations And Research Methodologies for PEMFC. *International Journal of Hydrogen Energy*. (xxxx).
- Zhiani, M., Gharibi, H. and Kakaei, K. 2010. Optimization Of Nafion Content In Nafion E-Polyaniline Nano-Composite Modified Cathodes for PEMFC Application. *International Journal of Hydrogen Energy*. 35(17): 9261–9268.
- Zhou, Z. M. *et al.* 2010. Durability Study of Pt-Pd/C as PEMFC Cathode Catalyst. *International Journal of Hydrogen Energy*. 35(4): 1719–1726.