

**STUDI PENGARUH TEMPERATUR *HUMIDIFIER* DAN LAJU
ALIR HIDROGEN TERHADAP KINERJA *PROTON
EXCHANGE MEMBRANE FUEL CELL* (PEMFC)
MENGUNAKAN KATALIS Pt/C DAN CoFe/N-C**

SKRIPSI

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



Juwita

08031181621023

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

2020

HALAMAN PENGESAHAN

**STUDI PENGARUH TEMPERATUR HUMIDIFIER DAN LAJU ALIR
HIDROGEN TERHADAP KINERJA PROTON EXCHANGE MEMBRANE
FUEL CELL (PEMFC) MENGGUNAKAN KATALIS P/C DAN CoFe/N-C**

SKRIPSI

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

Oleh :

Juwita

08031181621023

Indralaya, 03 Juni 2020

Pembimbing I



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

Pembimbing II



Fahma Riyanti, M. Si
NIP. 197204082000032001

Mengetahui,
Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



Prof. Dr. Iskhak Iskandar, M.Sc
NIP. 197210041997021001

HALAMAN PERSETUJUAN

Karya tulis ilmiah berupa skripsi ini dengan judul "Studi Pengaruh Temperatur Humidifier dan Laju Alir Hidrogen Terhadap Kinerja Proton Exchange Membrane Fuel Cell (PEMFC) Menggunakan Katalis Pt/C Dan CoFe/N-C" telah dipertahankan di hadapan Tim Penguji Sidang Sarjana Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Sriwijaya pada Tanggal 27 Mei 2020 dan telah diperbaiki, diperiksa, serta disetujui sesuai masukan yang diberikan.

Indralaya, 03 Juni 2020

Ketua :

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

()

Anggota :

2. **Fahma Riyanti, M. Si.**
NIP. 197204082000032001

()

3. **Dr. Ady Mara, M. Si.**
NIP. 196404301990031003

()

4. **Drs. Almunadi T.P, M. Si.**
NIP. 196011081994021001

()

5. **Nova Yuliasari, M. Si.**
NIP. 197307261999032001

()

Mengetahui,



PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama mahasiswa : Juwita
NIM : 08031181621023
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, 03 Juni 2020
Penulis,

Juwita
NIM. 08031181621023



KATA PENGANTAR

Puji syukur atas kehadiran Allah SWT, karena atas rahmat dan hidayah-Nya lah penulis dapat menyusun dan menyelesaikan penelitian dan skripsi yang berjudul “Studi Pengaruh Temperatur *Humidifier* dan Laju Alir Hidrogen Terhadap Kinerja *Proton Exchange Membrane Fuel Cell* (PEMFC) Menggunakan Katalis Pt/C dan CoFe/N-C”. Skripsi ini dibuat sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana sains (S.Si) pada Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Jurusan Kimia Universitas Sriwijaya.

Proses dalam penyusunan dan penyelesaian skripsi ini penulis menyadari sangat mendapat banyak dukungan dan bantuan serta bimbingan dari berbagai pihak. Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada bapak **Dr. Dedi Rohendi, M.T.** selaku pembimbing I dan Ibu **Fahma Riyanti, M. Si.** selaku pembimbing II atas segala bimbingan, kesabaran dan waktu yang diluangkan kepada penulis selama menjalankan penelitian dan penyusunan skripsi ini hingga selesai.

Penulis juga menyampaikan terima kasih kepada:

1. Allah SWT dan Nabi Muhammad SAW, karena atas rahmat dan ridho-Nya penulis dapat menyelesaikan penelitian dan penulisan skripsi dengan lancar.
2. Kedua orang tua tersayang Bapak Eddy A. Malik dan Ibu Ani Didik terima kasih atas do'a yang selalu kalian curahkan kepadaku dan terima kasih atas dukungan materi maupun non materi serta semangat yang selalu kalian berikan.
3. Bapak Prof. Dr. Iskhaq Iskandar, M.Sc selaku Dekan MIPA Universitas Sriwijaya.
4. Bapak Dr. Hasanudin, M.Si selaku Ketua Jurusan Kimia FMIPA Universitas Sriwijaya.
5. Bapak Dr. Addy Racmat, M.Si selaku Sekretaris Jurusan Kimia FMIPA Universitas Sriwijaya atas motivasi serta informasi yang diberikan berkaitan dengan jurusan kimia.

6. Bapak Dr. Dedi Rohendi, M. T selaku dosen Pembimbing Akademik sekaligus dosen pembimbing I yang telah memberikan banyak motivasi, bimbingan serta solusi terkait masalah yang saya hadapi selama perkuliahan berlangsung.
7. Bapak Dr. Ady Mara, M. Si., Bapak Drs. Almunadi T.P, M. Si dan Ibu Nova Yuliasari, M.Si selaku pembahas dan penguji sidang sarjana yang telah membimbing, membantu dan memberikan saran dalam menyelesaikan skripsi ini serta terima kasih juga atas ilmu pengetahuan yang saya dapatkan selama proses pengujian selama ini.
8. Ibu Ferlina Hayati, M.Si selaku Koordinator Seminar yang membantu dalam segala hal dalam pengurusan jadwal seminar.
9. Seluruh staf Dosen jurusan Kimia Fakultas MIPA UNSRI yang telah mendidik, membimbing serta memberikan ilmunya selama masa kuliah.
10. Staf Analis Laboratorium Kimia FMIPA dan Staf Administrasi Jurusan (Mbak Novi dan Kak Iin) terima kasih banyak atas bantuannya selama perkuliahan.
11. Keluarga besar tercinta, saudara dan orang-orang terdekatku, terima kasih karena kalian telah mendukungku serta untuk adikku M. Afrizal dan M. Agus Triansyah Syaputra terima kasih banyak sudah mau mengantar jemput selama penelitian dan perkuliahan.
12. Sahabat until jannah (Esis, Dita, Fiko, Ayu) terima kasih telah menjadi team kuliah, becawa, becantik dan team titip bangku serta terima kasih sudah membuat kehidupan kampusku jadi lebih berwarna dengan canda tawa dan kerecehan kalian. Walaupun kita nanti akan dipisahkan oleh jarak dan waktu semoga silaturahmi kita tetap terjaga dan semoga kita selalu dalam lindungan Allah SWT dan semoga persahabatan kita ini sampai ke surganya Allah SWT yaa sesuai namanya hehe serta sukses buat kita semua, Aamiin. **SAYANG KALIAN !!!**
13. Sahabat-sahabat “Bangsawan Berhijrah” (Athis, Dyah, Khairani, Nurul, Shinta, Winni, Nur, Sully, Mey, Dita, Esis, Ayu, Fiko) terima kasih banyak atas bantuan dan kebersamaanya selama ini. Terima kasih telah menjadi sahabat diskusi, becawa, dan ke-uwuan serta keriwahan kalian selama ini. Sukses semua buat kita semua, Aamiin.

14. Sahabatku Miranti Anggraini dan M. Abdul Ghofur S. Si terima kasih banyak yaa selama ini sudah mendukungku dan selalu memberikan semangat kepadaku dalam menyelesaikan perkuliahan ini.
15. Teman-teman seperjuangan kimia 2016 terima kasih atas bantuan dan kebersamaannya dari maba hingga akhir. Terima kasih untuk semua pengalaman dan pembelajaran yang luar biasa bersama kalian. Semoga sukses untuk kita semua
16. Kakak-kakak PUR (Kak Dwi, kak Dea, kak Reka, kak icha, kak mut, kak hengki, kak novia) serta Tem PUR lainnya, terima kasih atas bantuannya dalam menyelesaikan penelitian dan selalu memberikan motivasi, semangat serta memberikan makna dari kebersamaan selama menyelesaikan penelitian di PUR tercinta. Sukses buat kita semua, Aamiin.
17. Kak Dwi Hawa Yulianti M. Si terima kasih banyak kak atas waktu bantuannya selama ini, maaf juwi selalu merepotkan kakak hehe, semoga kakak selalu dalam lindungan Allah SWT, sehat terus serta sukses dunia akhirat kak. Aamiin.
18. Team TA (Athis, Uwid, Rahma, Renza) terima kasih banyak atas waktu, ilmu serta dukungan semangatnya selama ini semoga kita semua sukses, Aamiin.
19. Seluruh kakak dan adik tingkat kimia FMIPA UNSRI serta semua pihak yang telah membantu memberikan saran dan masukan baik secara langsung maupun tidak langsung dalam pembuatan skripsi ini yang tidak dapat disebutkan satu persatu namanya.
20. Virus Covid-19, terima kasih telah mengajarkan kepada kami betapa pentingnya menjaga kebersihan serta mengajarkan kami arti dari kesabaran, sehingga dapat memahami bahwa waktu adalah suatu hal yang sangat berharga. Do'anya semoga cepat berakhir dan kami dapat beraktivitas kembali seperti sedia kala. Aamiin.

Penulis menyadari dalam penulisan skripsi ini masih banyak terdapat kekurangan, untuk itu penulis mengharapkan saran dan masukan yang membangun dari para pembaca. Semoga skripsi ini bermanfaat bagi kita semua.

Indralaya, Juni 2020

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN DEPAN	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
HALAMAN PERSETUJUAN	iii
PERSYARATAN KEASLIAN KARYA ILMIAH	iv
HALAMAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH	v
ABSTRAK	vi
ABSTRACT	vii
HALAMAN PERSEMBAHAN	viii
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI	xii
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL	xvi
DAFTAR LAMPIRAN	xvii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	3
1.3. Tujuan Penelitian.....	3
1.4. Manfaat Penelitian.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1. Prinsip Kerja <i>Fuel Cell</i>	4
2.2. <i>Proton Exchange Membrane Fuel Cell</i> (PEMFC)	5
2.3. Kerangka PEMFC.	6
2.3.1 Plat Bipolar	6
2.3.2 Gasket.....	7
2.3.3 <i>Membrane Electrode Assembly</i> (MEA)	7
2.3.3.1 Membran Polimer pada PEMFC.....	7
2.3.3.2 Elektroda	8
2.3.4 Plat Penutup	12
2.4. Hidrogen Sebagai Bahan Bakar.....	12

2.5. Kurva Polarisasi	13
2.5.1 Polarisasi Aktivasi.....	14
2.5.2 Polarisasi Ohmik	14
2.5.3 Polarisasi Konsentrasi	15
2.6. Pengaruh Kondisi Operasi Terhadap Kinerja PEMFC (<i>Proton Exchange Membrane Fuel Cell</i>).....	15
2.6.1 Temperatur <i>Humidifier</i>	15
2.6.2 Laju aliran hidrogen	17
2.7. Karakterisasi Elektroda	18
2.7.1 <i>Cyclic Voltammetry (CV)</i>	18
2.7.2 Pendekatan EIS	19
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	20
3.1. Waktu dan Tempat	20
3.2. Alat dan Bahan	20
3.3. Prosedur Penelitian.....	20
3.3.1 Pembuatan GDL (<i>Gas Diffusion Layer</i>)	20
3.3.2 Pembuatan Elektroda dengan katalis Pt/C dan CoFe/N-C menggunakan Metode <i>Spraying</i>	21
3.3.2.1 Pembuatan Elektroda dengan Katalis Pt/C ..	21
3.3.2.2 Pembuatan Elektroda dengan Katalis CoFe/N-C	21
3.3.3 Pembuatan MEA (<i>Membrane Electrode Assembly</i>) .	21
3.4. Karakterisasi Elektroda Pt/C dan CoFe/N-C.....	22
3.4.1 Pengujian Sifat Elektrokimia Menggunakan Metode <i>Cyclic Voltammetry</i>	22
3.4.2 Pengukuran Konduktivitas Elektrik Menggunakan Metode EIS	22
3.5. Pengujian Kinerja MEA pada PEMFC dengan Berbagai Kondisi Reaksi	23
3.5.1 Pengujian Kinerja MEA Berdasarkan Kondisi Temperatur <i>Humidifier</i>	23

3.5.2 Pengujian Kinerja MEA Berdasarkan Kondisi Laju Alir Hidrogen	23
3.6. Analisa Data	24
3.6.1 Analisis Karakterisasi Elektroda PEMFC	24
3.6.1.1 Analisis CV (<i>Cyclic Voltammetry</i>)	24
3.6.1.2 Analisis EIS (<i>Electrochemical Independence Spectroscopy</i>)	24
3.6.2 Analisis Kinerja MEA.....	24
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	25
4.1. Pembuatan GDL (<i>Gas Diffusion Layer</i>) dan Elektroda Menggunakan Metode <i>Spraying</i>	25
4.2. Karakterisasi Elektroda PEMFC	26
4.2.1 Karakterisasi Elektroda Menggunakan <i>Cyclic Voltammetry</i> (CV).....	26
4.2.2 Karakterisasi Elektroda Menggunakan Metode <i>Electrochemical Independence Spectroscopy</i> (EIS) ..	28
4.2.3 Nilai Konduktivitas Elektrik pada Elektroda Pt/C dan CoFe/N-C	29
4.3. Pembuatan dan Pengujian Kinerja MEA pada PEMFC	30
4.3.1 Pembuatan MEA	30
4.3.2 Pengujian Kinerja MEA.....	30
4.3.2.1 Pengukuran <i>Open Circuit Voltage</i> (OCV)..	30
4.3.2.2 Pengujian Kinerja MEA pada Variasi Temperatur <i>Humidifier</i>	31
4.3.2.3 Pengujian Kinerja MEA pada Variasi Laju Alir Hidrogen.....	33
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	37
5.1. Kesimpulan	37
5.1. Saran	37
DAFTAR PUSTAKA	38
LAMPIRAN.....	42

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 1. Skema Prinsip Kerja <i>Fuel Cell</i>	4
Gambar 2. Kerangka PEMFC	6
Gambar 3. Kurva tegangan terhadap kerapatan arus	14
Gambar 4. Skema Proses Transportasi Air pada PEMFC	16
Gambar 5. Pengaruh Perubahan RH pada Temperatur 80°C.....	16
Gambar 6. Hubungan Jumlah Hidrogen Terhadap Tegangan PEMFC ...	17
Gambar 7. <i>Gas Diffusion Layer</i> (GDL)	25
Gambar 8. Voltamogram elektroda dengan katalis Pt/C dan CoFe/N-C..	27
Gambar 9. Kurva Impedansi pada Elektroda Pt/C dan CoFe/N-C	28
Gambar 10. MEA dengan Katalis Pt/C di anoda dan katoda (a) CoFe/N-C C (b) Pt/C	30
Gambar 11. Grafik Tegangan Terhadap Kerapatan Arus untuk MEA dengan Anoda Pt/C dan Katoda (a) CoFe/N-C (b) Pt/C pada Variasi Temperatur <i>Humidifier</i>	31
Gambar 12. Grafik Kerapatan Daya Terhadap Kerapatan Arus untuk MEA dengan Anoda Pt/C dan Katoda (a) CoFe/N-C (b) Pt/C pada Variasi Temperatur <i>Humidifier</i>	33
Gambar 13. Grafik Kerapatan Daya Terhadap Kerapatan Arus untuk MEA dengan Anoda Pt/C dan Katoda (a) CoFe/N-C (b) Pt/C pada Variasi Laju Alir Hidrogen	34
Gambar 14. Grafik Kerapatan Daya Terhadap Kerapatan Arus untuk MEA dengan Anoda Pt/C dan Katoda (a) CoFe/N-C (b) Pt/C pada Variasi Laju Alir Hidrogen	35

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 1. Data Eksperimen Manufaktur MEA	10
Tabel 2. Data Pengukuran ORR pada Berbagai Katalis	12
Tabel 3. Perbandingan Kalor	13
Tabel 4. Nilai Konduktivitas Elektroda Pt/C dan CoFe/N-C.....	29
Tabel 5. Nilai OCV pada MEA.....	31

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran 1. Skema Kerja	43
Lampiran 2. Perhitungan Kandungan Komponen Pt/C dan CoFe/N-C	44
Lampiran 3. Diagram Voltammogram dan Nilai ECSA	46
Lampiran 4. Data Nilai Hambatan dan Nilai Konduktivitas Elektroda	50
Lampiran 5. Gambar Alat dan Penelitian.....	53

ABSTRACT

STUDY THE EFFECT OF HUMIDIFIER TEMPERATURE AND HIDROGEN FLOW RATE ON PROTON EXCHANGE MEMBRANE FUEL CELL (PEMFC) PERFORMANCE USING Pt/C AND CoFe/N-C CATALYSTS

Juwita : Supervised by Dr. Dedi Rohendi, M. T. and Fahma Riyanti, M. Si.
Departement of Chemistry, Faculty of Mathematics And Natural Sciences, Sriwijaya University
xiii+ 73 pages, 17 pictures, 10 tabels, 21 attachments

Studies on the effect of humidifier temperature and hydrogen flow rate on the performance of the Proton Exchange Membrane Fuel Cell (PEMFC) using Pt/C and CoFe/N-C catalysts have been carried out. Membrane Electrode Assembly (MEA) is made of two electrodes, each coated with a Pt/C catalyst on the anode side and CoFe/N-C on the cathode side. The second MEA was made using a Pt/C catalyst both at the cathode and anode and the electrolyte membrane used was the Nafion-212 membrane. Electrodes were characterized using the Cyclic Voltammetry (CV) method to obtain Electrochemical Surface Area (ECSA) and Electrochemical Independence Spectroscopy (EIS) methods to obtain electrode electrical conductivity data. Based on the CV results, the ECSA value of the Pt/C electrode was 60.88 mg/cm² while the CoFe/N-C electrode was 4.83 mg/cm². The electrical conductivity test of the electrode shows that the Pt/C electrode has the highest conductivity value of 7.2 x 10⁻³ S/cm while the CoFe/N-C electrode is 4.4 x 10⁻³ S/cm. The highest OCV (Open Circuit Voltage) value was shown in MEA with Pt/C catalyst on both sides at 0.890 V, while OCV value on MEA with CoFe/N-C catalyst was 0.790 V. Meanwhile, the temperature of the humidifier 80°C is the optimum temperature of MEA testing with a power density of 3.43 mW/cm² in MEA with a CoFe The cathode side while MEA with Pt/C on both sides amounted to 10.14 mW/cm². In addition to the temperature effect of humidifier, MEA performance is also influenced by the hydrogen flow rate as a fuel supply on the PEMFC. The best hydrogen flow rate in the MEA with CoFe/N-C catalysts on the cathode side and Pt/C on the anode at 400 mL/min with power density of 4.93 mW/cm², while for MEA with the Pt/C catalyst on both sides indicates that the optimum hydrogen flow rate at 200 mL/min with a power density of 10.14 mW/cm².

Keywords : Proton Exchange Membrane Fuel Cell (PEMFC), Pt/C, CoFe/N-C, Humidifier temperature, hydrogen flowrate.

Pembimbing I



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

Indralaya, 05 Juni 2020

Pembimbing II



Fahma Riyanti, M. Si.
NIP. 197204082000032001

Mengetahui,
Ketua Jurusan Kimia



Dr. Hasanudin, M. Si.
NIP. 197205151997021003

Universitas Sriwijaya

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Sumber energi yang ada di dunia masih didominasi oleh energi fosil yang tidak dapat diperbaharui seperti minyak bumi, batu bara dan gas alam lainnya. Penggunaan energi fosil secara terus-menerus dapat menyebabkan menipisnya ketersediaan bahan bakar dan juga dapat menyebabkan pencemaran lingkungan seperti polusi udara. Sehingga dibutuhkan energi alternatif yang bersih dan terbarukan yang dapat menggantikan peran bahan bakar fosil yaitu *fuel cell* (Wiratmaja *et al.*, 2011). *Fuel cell* merupakan suatu alat konversi energi yang bekerja secara elektrokimia, dimana mengubah hidrogen dan oksigen menjadi listrik, air dan panas tanpa adanya proses pembakaran, sehingga sangat mengurangi timbulnya polusi udara dan ledakan (Wang *et al.*, 2009).

Salah satu jenis *fuel cell* yang sering dikembangkan sebagai energi alternatif adalah PEMFC (*Proton Exchange Membrane Fuel Cell*). PEMFC memiliki kelebihan, di mana densitas energinya tinggi, bersifat modular, beroperasi pada temperatur yang rendah (50-100°C) dan cocok digunakan untuk aplikasi dimana *start-up* yang cepat dibutuhkan pada kendaraan otomotif dan pembangkit tenaga listrik (Daud *et al.*, 2004). Komponen terpenting pada PEMFC adalah *Membrane Electrode Assembly* (MEA) atau elektroda yang terdiri dari anoda dan katoda yang mengapit membran elektrolit pada kedua sisi (Rohendi *et al.*, 2016). Untuk menghasilkan MEA dengan kinerja tinggi, hal yang perlu diperhatikan adalah kandungan katalis pada elektroda serta metode pembuatannya.

Katalis yang digunakan pada elektroda PEMFC umumnya katalis yang berbasis platina, tetapi penggunaan logam platina memiliki kekurangan yaitu harganya yang cukup mahal dan mudah teracuni. Selain logam platina, penggunaan logam golongan transisi seperti Au, Co, Cu, Fe, Mo, Ni, Sn, W, Os, Rh, Pd dan Bi serta Ru dapat dijadikan sebagai katalis yang dapat meningkatkan aktivitas kinerja dari membran serta dapat mengurangi penggunaan logam platina sebagai katalis (Saputra, 2017). Pada penelitian ini penggunaan Nitrogen graphene dengan serat Besi dapat meningkatkan ORR (*Oxygen Reduction*

Reaction) pada membran sedangkan Karbon Kobalt (Co) yang tertanam N-doped menunjukkan kemampuan untuk menurunkan OER (*Oxygen Evolution Reaction*) sehingga diharapkan dapat lebih meningkatkan kinerja MEA pada PEMFC (An *et al.*, 2018).

Selain penggunaan katalis, metode yang digunakan dalam pembuatan elektroda harus diperhatikan. Metode *spraying* digunakan karena tidak dapat merusak permukaan elektroda serta dapat mendistribusikan katalis ke seluruh luas permukaan elektroda dengan baik (Rohendi *et al.*, 2016). Kinerja PEMFC sangat dipengaruhi oleh temperatur *humidifier* yang optimum dalam membran. Membran yang berbasis *perflourosulfonat acid* (PFSA) harus dihidrasi untuk memberikan konduktivitas proton yang baik (Odgaard, 2015). Temperatur yang rendah dapat menurunkan konduktivitas proton, hal ini dikarenakan membran menjadi kering atau tidak terhidrasi dengan baik. Akan tetapi, jika temperatur terlalu tinggi dapat menyebabkan membran menjadi retak atau rusak. Retaknya membran dapat membuka selaput pada membran dan akan menyebabkan terjadinya *crossover*, sehingga dapat menurunkan kinerja dari PEMFC (Rohendi *et al.*, 2015).

Pengaruh laju alir hidrogen juga perlu dioptimasi untuk menghindari adanya *drop* arus (*dead point*) pada PEMFC (Sik *et al.*, 2013). Drop arus muncul akibat ketidakseimbangan antara hidrogen dan oksigen sehingga pada titik tertentu PEMFC akan kehabisan gas reaktan yang mengakibatkan tegangan turun drastis menuju nol dan arus tidak dapat ditingkatkan lagi (Safitri *et al.*, 2016). Kinerja dari PEMFC diketahui menggunakan kurva polarisasi yaitu kurva yang memperlihatkan hubungan antara kerapatan arus terhadap tegangan (I-V) serta kerapatan arus terhadap kerapatan daya (I-P).

Berdasarkan penjelasan di atas dilakukan pengujian kinerja PEMFC terhadap temperatur *humidifier* dan laju alir hidrogen menggunakan katalis Pt/C dan CoFe/N-C. Penelitian ini melakukan pembuatan bagian terpenting dari PEMFC yaitu MEA dengan katalis Pt/C dan CoFe/N-C dengan membran elektrolit Nafion 212 menggunakan metode *spraying*. Serta membahas pengaruh variasi temperatur *humidifier* dan laju alir hidrogen melalui kurva polarisasi dengan variasi temperatur *humidifier* sebesar 40°C, 60°C, 80°C dan 100°C pada laju alir hidrogen 200 mL/menit serta variasi laju alir hidrogen sebesar 100

mL/menit, 200 mL/menit, 300 mL/menit dan 400 mL/menit pada temperatur optimum yang didapat.

1.2. Rumusan Masalah

1. Bagaimana kinerja MEA dengan katalis Pt/C dan CoFe/N-C menggunakan metode *spraying* pada PEMFC ?
2. Bagaimana pengaruh temperatur *humidifier* dan laju alir hidrogen terhadap kinerja PEMFC berdasarkan pengukuran kerapatan arus terhadap tegangan (I-V) dan kerapatan arus terhadap kerapatan daya (I-P) *performance* ?

1.3. Tujuan Penelitian

1. Melakukan pembuatan elektroda dan MEA dengan katalis Pt/C dan CoFe/N-C menggunakan metode *spraying*.
2. Melakukan karakterisasi elektroda berupa pengukuran situs aktif katalis menggunakan metode *Cyclic Voltammetry* (CV) dan pengukuran konduktivitas elektrik menggunakan pendekatan *Electrochemical Impedance Spectroscopy* (EIS).
3. Mengetahui kinerja PEMFC pada berbagai variasi temperatur *humidifier* dan laju alir hidrogen pada kondisi optimum penentu kinerja PEMFC berdasarkan pengukuran OCV, (I-V) dan (I-P) *performance*.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian ini adalah untuk menciptakan energi alternatif baru yang dapat memenuhi kebutuhan sehari-hari yang bersifat ramah lingkungan, serta dapat mengetahui pengaruh temperatur *humidifier* dan laju alir hidrogen yang optimum sebagai salah satu parameter penentu kinerja MEA pada PEMFC sehingga dapat mengurangi waktu dan biaya yang dibutuhkan dalam penelitian selanjutnya.

DAFTAR PUSTAKA

- An, T. *et al.* (2018) 'Facile One-Pot Synthesis of CoFe Alloy Nanoparticles Decorated N-Doped Carbon for High-Performance Rechargeable Zinc–Air Battery Stacks', *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*. American Chemical Society, 6, pp. 7743–7751.
- Anggraeni, N. (2016) '*Pembuatan dan Karakterisasi Elektroda Pt-Ni/C dengan Metode Elektrodeposisi dan Impregnasi*', Jurusan Kimia, Universitas Sriwijaya, Indralaya.
- Basuli, U. *et al.* (2012) 'Properties and Degradation of the Gasket Component of a Proton Exchange Membrane Fuel Cell-A Review Properties and Degradation of the Gasket Component of a Proton Exchange Membrane Fuel Cell — A Review Delivered by Ingenta to', (October). doi: 10.1166/jnn.2012.6627.
- Candra, Venywijayanti, and Pirim Setiarso. (2015) 'Siklik Menggunakan Elektroda Pasta Karbon Termodifikasi Measuring Zn Metal On Waterspinach By Cyclic Voltametry'. pp. 3–4.
- Chandrasa, G. T. (2009) 'Daya Keluaran Stack Fuel Cell Pem Dengan Beban Dinamis', *J.Ilm.Tek.Energ.* 1(9), pp. 22–39.
- Chatenet, M., Laetitia, D., Nathalie, J dan Frederic, M. (2010) 'The (Electro) Catalyst|Membrane In The Proton Exchange Membrane Fuel Cell: Similarities And Differences With Non-Electrochemical Catalyst Membrane Reactors' Chatenet, M. *et al.* (2010) 'Article in press'. doi: 10.1016/j.cattod.2010.02.028.
- Cheng, X. *et al.* (2006) 'Characterization of Catalysts and Membrane in DMFC, pp. 4620–4625.
- Daud, W. R. W. *et al.* (2004) 'Performance Optimisation of PEM Fuel Cell During MEA Fabrication', 45, pp. 3239–3249.
- Deshpande, S. S., Khopkar, S. and Shankarling, G. (2017) 'SC', *Dyes and Pigments*. Elsevier Ltd.
- EG and G services, Person Inc dan Science Application International Corporation. (2000) 'Fuel Cell Handbook'. Morgantown, West Virginia: U.S Department of Energi.
- Eguia, P. (2017) 'Performance analysis of a PEM fuel cell Performance Analysis of a PEM Fuel Cell Key words PEMFC – Proton Exchange Membrane', (October). doi: 10.24084/repqj08.456.
- Forster, R. J and Cumba, L. R. (2018). Cyclic Voltammetry or Organic Compounds. 3rd edn, Reference Module in Chemistry, Molecular Science and Chemical Engineering. *Elsivier Inc*, 217-226.
- Guvelioglu, G. H. and Stenger, H. G. (2007) 'Flow rate and humidification effects on a PEM fuel cell performance and operation', 163, pp. 882–891. doi: 10.1016/j.jpowsour.2006.09.052.
- Haryati, S., Bustan, M. D., dan Asnani, J. (2009). 'Studi Efek Kinetika Katalis Platina, Paladium, Kobalt, dan Nikel terhadap Produksi Syngas di Steam Reformer PT Pusri II Palembang', *Added Value Of Energy Resources*, 185-189.

- Hijazi, A., Arifin, Z dan Pratapa, S. (2012) 'Pengaruh Konsentrasi CaCO_3 Terhadap Sifat Korosi Baja St. 37 dengan *Coating* PANi(HCL) CaCO_3 ', *Jurnal Sains dan Seni Pomits*, 1(1), pp. 1-6.
- Irmawati, Y., Indriyanti and Achiar, O. (2012) 'Effect of Hot Pressing Temperature on the Performance of Proton Exchange Membrane Fuel Cell Based on Gas Diffusion Electrode Carbon Paper and Carbon Cloth'. *Indonesian Journal of Materials Science*, 2(14), pp. 85-90.
- Kim, K. *et al.* (2010) 'The Effects of Relative Humidity on the Performances of PEMFC Meas With Various Nafion Ionomer Contents', *International Journal Of Hydrogen Energy*. Elsevier Ltd, 35(23), pp. 13104–13110.
- Larminie and Andrew, D. (2003) '*Fuel Cell Systems Explained Second Edition*'. British Library. Chippenham.
- Lestariningsih, T., Sabrina, Q dan Majid, N. (2017) 'Pusat Penelitian LIPI Kawasan PUSPITEK Serpong Gd. 440-442 Tangerang Selatan', *Jurnal Material dan Energi Indonesia*, 7(1), pp. 31-37.
- Majlan, E. H., Rohendi, D., Daud, W. R. W., Husnaini, T dan Haque, M. A. (2018) 'Electrode For Proton Exchange Membrane Fuel Cell: A Review. Renewable and Sustainable Energy Reviewa', 89, pp. 117-134.
- Mane, S. G. and Patil, P. N. (2000) 'Solvent Extraction Separation Of Barium (II) from Associated Elements using 15-Crown-5 from Picrate Medium', 8(May), pp. 554–556.
- Marken, F., Neudeck, A and Bond, A. M. (2010). *Cyclic Voltammetry, Electroanalytical Methods: Guids to Experiments and Application. Elsiwier Inc.* 127.
- Mathur, R. B. *et al.* (2007) 'Characteristics of the Carbon Paper Heat-Treated to Different Temperatures and its Influence on the Performance of PEM Fuel Cell', 52, pp. 4809–4817.
- Maulana, M. I. and Syahbanu, I. (2017) 'Sintesis Dan Karakterisasi Material Konduktif Film Komposit Polipirol (Ppy) Selulosa Bakteri', 6(3), pp. 11–18.
- Mulyani, R. and Noviandri, I. (2012) 'Studi Tametri Siklik Sosium Dedocyl Benzen Sulfonat Dalam Berbagai Elektroda dan Elektrolit Pendukung', *Jurnal Teknologi Pengolaan Limbah*, *Journal of Waste Management Technology*, 15(1), pp. 51–56.
- Mocadlo, R. (2013) 'Design and Fabrication of A Passive Direct Methanol Fuel Cell. *Thesis*. Chemical Enginering, Worcester Polytecnic Institue: Worcester.
- Moreira, J. *et al.* (2002) 'Dependence Of PEM Fuel Cell Performance on The Configuration of The Gas Diffusion Electrodes Dependence of PEM Fuel Cell Performance on The Configuration of The Gas Diffusion Electrodes', (August 2016).
- Odgraad, M. (2015). 'The Use of Perfluorinated Sulfonic Acid (PFSA) Membrane as Electrolyte in Fuel Cells'. IRD Fuel Cell. Kulinggade, svendborg, Denmark.
- Ong, B. C., S. K. Kamarudin, M. S. Masdar, and U. A. Hasran. (2017). 'Applications of Graphene Nano-Sheets as Anode Diffusion Layers in Passive Direct Methanol Fuel Cells (DMFC) ', *International Journal of Hydrogen Energy*. 42(14), pp. 9252–61.

- Page, M.P. V.P. Herranz. (2011) 'Effect of the Operation and Humidification Temperature of PEMFC Stack on Dead-End Mode', *J. Electrochem Sci.*, Vol. 6, 492 – 505.
- Park, S and Popov, B. N. (2011) 'Effect of a GDL Based on Carbon Paper or Carbon Cloth on PEM Fuel Cell. Elsevier Ltd', 90(1), pp. 436-440.
- Putra, A. M. (2010) 'Jurnal Analisis Produktifitas Gas Hidrogen dan Gas Oksigen pada Elektrolisis Larutan KOH', 2(2), pp. 141–154.
- Qi, Z. and Kaufman, A. (2002) 'Improvement Of Water Management By A Microporous Sublayer for PEM Fuel Cells', 109, pp. 1–9.
- Rao, V. B. (2015) 'Effect Of Operating Parameters On The Performance Of Pem Fuel Cell With Various Flow Field Geometries – A Theoretical Study', (2), pp. 102–110.
- Rohendi, D and Yulinar, A. (2010) 'Pembuatan Elektroda Fuel Cell Dengan Metode Elektrodeposisi Menggunakan Katalis Pt-Cr/C Dan Pt/C Dan Karakterisasinya', *Jurnal Penelitian Sains*. 13(C).
- 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', pp. 61–66.
- Rohendi, D. *et al.* (2015) 'ScienceDirect Effects of temperature and backpressure on the performance degradation of MEA in PEMFC', *International Journal of Hydrogen Energy*. Elsevier Ltd, 40(34), pp. 10960–10968. doi: 10.1016/j.ijhydene.2015.06.161.
- Safitri, I. A., Rudiyanto, B. and Nursalim, A. (2016) 'Uji Kinerja Smart Grid Fuel Cell Tipe Proton Exchange Membrane (PEM) dengan Penambahan Hidrogen', 1(1).
- Saputra, W. (2017) 'Pembuatan Elektroda Pt-Ru/C dengan Metode Impregnasi dan Uji Kinerja Elektroda pada Direct Methanol Fuel Cell' Jurusan Kimia, Universitas Sriwijaya, Indralaya.
- Science, E. (2011) 'Effect of the Operation and Humidification Temperatures on the Performance of a Pem Fuel Cell Stack on Dead-End Mode', 6, pp. 492–505.
- Sik, H. *et al.* (2013) 'Performance Evaluation Of a Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cell System For Powering Portable Freezer', *Applied Energy*. Elsevier Ltd, 105, pp. 125–137. doi: 10.1016/j.apenergy.2012.12.056.
- Song, C. *et al.* (2008) 'Voltage Jump During Polarization of a PEM Fuel Cell Operated at Low Relative Humidities', pp. 2802-2807.
- Srinivisan, S., L. Krishnan dan C. Marrozi. (2001) 'Fuel Cell Principles', New York, McGraw Hill.
- 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*. Elsevier Ltd, 35(19), pp. 10430–10436.
- Vera, J. C. B. (2017) 'ScienceDirect EIS analysis of oxygen reduction reaction of Pt supported on different substrates', pp. 1–10. doi: 10.1016/j.ijhydene.2017.08.087.
- Wang, Z. *et al.* (2009) 'Durability Studies on Performance Degradation of Pt / C Catalysts of Proton Exchange Membrane Fuel Cell', *International Journal*

- of Hydrogen Energy*. Elsevier Ltd, 34(10), pp. 4387–4394.
- Wang, J. *et al.* (2007) 'Effect Of Carbon Black Support Corrosion On The Durability Of Pt/C Catalyst', *Jurnal Of Power Science*. 171(2007), pp. 331-339.
- Weng, F., Su, A. and Hsu, C. (2007) 'The Study Of The Effect Of Gas Stoichiometric Flow Rate On The Channel Flooding And Performance In A Transparent Fuel Cell', 32, pp. 666–676. doi: 10.1016/j.ijhydene.2006.06.066.
- Wilson, M. S., Springer, T.E., Davey, J. R dan Gottesfeld, S. (1995). In: S. Gottesfield, G. Halpert, A. Landgrebe (Eds). 'Proceedings of the First International Symposium on Proton Conducting Membrane Fuel Cell I, PV95-23. The Electrochemical Society, pp.115.
- Wiratmaja, I. G., Kusuma, I. G. B dan Winaya, I. N. S. (2011) 'Pembuatan Etanol Generasi Kedua dengan Memanfaatkan Limbah Rumput Laut *Eucheuma Cottonii* Sebagai Bahan Baku', 5(1), pp. 1-3.
- Wisojodharmo, L. A and Eniya, L. D. (2008) 'Pembuatan-Membrane-Electrode-Assembly' Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi, 1-5.
- Yan, Q., Toghiani, H. and Wu, J. (2006) 'Investigation Of Water Transport Through Membrane In a PEM Fuel Cell by Water Balance Experiments', 158, pp. 316–325. doi: 10.1016/j.jpowsour.2005.09.013.
- Yu, H. M. *et al.* (2005) 'Analysis Of Membrane Electrode Assembly (MEA) By Environmental Scanning Electron Microscope (ESEM)', 145, pp. 216–222. doi: 10.1016/j.jpowsour.2004.12.069.

