

**STUDI PENGARUH TEKANAN DAN TEMPERATUR  
PREPARASI MEA DENGAN MEMBRAN NAFION 212  
TERHADAP KINERJA MEA**

**SKRIPSI**



**Oleh :**

**RENZA HIDAYAH SAPUTRA**

**08031181621010**

**JURUSAN KIMIA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS SRIWIJAYA  
2020**

**HALAMAN PENGESAHAN**

**STUDI PENGARUH TEKANAN DAN TEMPERATUR PREPARASI MEA  
DENGAN MEMBRAN NAFION 212 TERHADAP KINERJA MEA**

**SKRIPSI**

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

**Oleh :**

**RENZA HIDAYAH SAPUTRA**

**08031181621010**

**Pembimbing I**

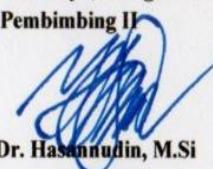


**Dr. Dedi Rohendi, M.T**

NIP. 196704191993031001

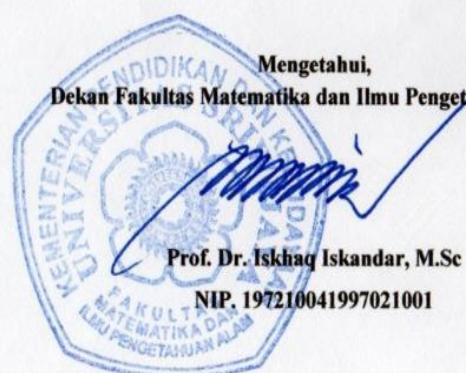
**Indralaya, 18 Agustus 2020**

**Pembimbing II**



**Dr. Hasannudin, M.Si**

NIP.197205151997021003



## HALAMAN PERSETUJUAN

Karya tulis ilmiah berupa skripsi dengan judul "Studi Pengaruh Tekanan dan Temperatur Preparasi MEA dengan Membran Nafion 212 Terhadap Kinerja MEA telah dipertahankan dihadapan Tim Penguji Karya Ilmiah Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Sriwijaya pada tanggal 14 Agustus 2020 dan telah diperbaiki, diperiksa serta disetujui sesuai masukan yang diberikan.

Indralaya, 18 Agustus 2020

Ketua :

1. Dr. Dedi Rohendi, M.T

NIP. 196704191993031001



Anggota :

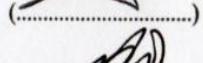
2. Dr. Hasannudin, M.Si

NIP. 197205151997021003



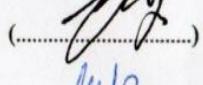
3. Zainal Fanani, M. Si

NIP. 196708211995121001



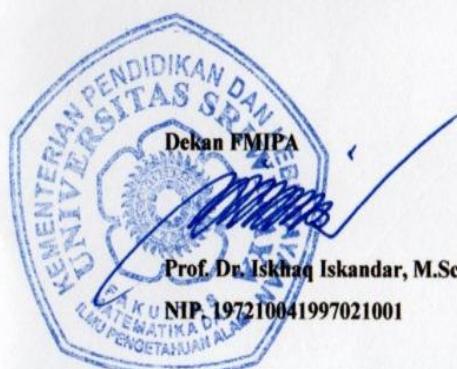
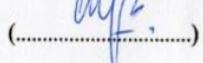
4. Nova Yuliasari, M. Si

NIP. 197307261999032001



5. Prof. Dr. Elfita, M.Si

NIP. 196903261994122001



iii

Universitas Sriwijaya

iii

Universitas Sriwijaya

### **PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH**

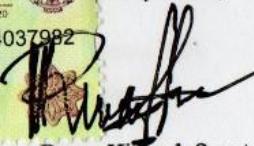
Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama mahasiswa : Renza Hidayah Saputra  
NIM : 08031181621010  
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, 31 Agustus 2020  
  
menyatakan,  
  
Renza Hidayah Saputra  
NIM. 08031181621010

## **HALAMAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH**

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

Nama Mahasiswa : Renza Hidayah Saputra  
NIM : 08031181621010  
Fakultas/Jurusan : MIPA/Kimia  
JenisKarya : Skripsi

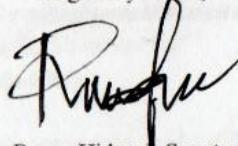
Demi pengembangan ilmu pengetahuan,

Saya menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Sriwijaya “hak bebas royalti non-ekslusif (*non-exclusively royalty-free right*) atas karya ilmiah saya yang berjudul: “Studi Pengaruh Tekanan dan Temperatur Preparasi MEA dengan Membran Nafion 212 Terhadap Kinerja MEA”. Dengan hak bebas royalti non-ekslusif ini Universitas Sriwijaya berhak menyimpan, mengalih, edit/memformatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (database), merawat, dan mempublikasikan tugas akhir atau skripsi saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik hak cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya.

Indralaya, 31 Agustus 2020

Yang menyatakan,



Renza Hidayah Saputra

NIM. 08031181621010

## **LEMBAR PERSEMBAHAN**

*Bismillahirohmanirrohim*

**Dengan rahmat ALLAH yang maha pengasih lagi maha penyanyang serta shalawat beriring salam kepada Nabi Besar Muhammad SAW. Sebuah karya kecil, aku persembahkan kepada :**

- Kedua orang tuaku yang telah membesarkan dan merawatku sejak kecil sampai sekarang, serta mendoakan kebaikan untuk anakmu ini disetiap sholat
- Keluarga besarku yang selalu memberikan dukungan untukku agar terus maju dalam menghadapi rintangan
- Sahabat-sahabatku yang selalu mendukung dan memberi suntikan semangat
- Almamaterku (**Universitas Sriwijaya**)

*“Demi masa. Sungguh manusia berada dalam kerugian, kecuali orang-orang yang beriman dan mengerjakan kebajikan serta saling menasihati untuk kebenaran dan saling menasihati untuk kesabaran”*

**(Q.S Al-Ashr : 1-3)**

*“Allah tidak membebani seseorang itu melainkan sesuai dengan kesanggupannya”*

**(Q.S Al-Baqarah : 286)**

*“Sesungguhnya urusan-Nya apabila dia menghendaki sesuatu, Dia berkata “Jadilah!”, Maka jadilah sesuatu itu”*

**(Q.S Yasin : 82)**

*“Ketika hatimu terlalu berharap kepada seseorang, maka Allah timpahkan pedihnya pengharapan. Supaya kamu mengetahui, bahwa Allah sangat mencemburi hati yang berharap selain dia. Maka Allah menghalangimu dari perkara tersebut, agar kamu kembali berharap kepadanya”*

**(Imam Syafi'i)**

*“Ada yang mati-matian memulai. Ada yang babak belur bertahan. Ada yang sulit mengakhiri. Setiap orang mempunyai badainya masing-masing. Yang tak sedangkal asumsi dan komentar kita”*

**(Renza)**

## KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT, karena atas rahmat dan hidayah-Nya lah penulis dapat menyusun dan menyelesaikan penelitian dan penulisan skripsi yang berjudul “Studi Pengaruh Tekanan dan Temperatur Preparasi MEA Dengan Membran Nafion 212 Terhadap Kinerja MEA”. Shalawat serta salam selalu tercurah kepada junjungan dan suri tauladan kita yaitu Nabi Muhammad SAW yang telah membawa kita dari zaman Zahiliyah ke zaman yang banyak sekali ilmu pengetahuan.

Dalam menyusun dan menyelesaikan 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 bapak **Dr. Hasanudin, M.Si** selaku pembimbing II atas segala bimbingan, kesabaran dan waktu yang diluangkan kepada penulis selama menjalankan penelitian dan penyusunan skripsi ini hingga selesai, juga kepada Universitas Sriwijaya atas bantuan dana penelitian melalui Penelitian Kompetitif Universitas Sriwijaya 2019.

Selain itu, penulis juga mengucapkan terima kasih kepada:

1. Allah SWT dan Nabi besar Muhammad SAW, karena atas rahmat dan ridho-Nya penulis dapat menyelesaikan penelitian dan penulisan skripsi dengan kemudahan yang diberikan dan bantuan tanpa kasat mata.
2. Kedua orang tuaku yang tercinta bapak Frensy dan ibu Putri Maya Sinta, terima kasih atas do'a yang selalu kalian curahkan padaku yang pastinya senantiasa mengiringi setiap langkah kaki anakmu ini, terima kasih atas pembelajaran dan pengalaman hidup luar biasa yang telah diberikan kepada anakmu, terima kasih atas dukungan materi dan semangat yang selalu kalian berikan kepada anakmu ini.
3. Almh Nenek Ipah, yang dari kecil selalu bersama renza dan banyak sekali ilmu dan pengalaman bermakna yang Almh nenek Ipah ajarkan kepadaku. Terima kasih atas semua jasa dan kasih sayang yang telah nenek

berikan kepadaku. Semoga Almh nenek ipah bisa tenang di alam sana dan Inysaallah masuk Syurga-Nya Allah.

4. Bapak Prof. Dr. Iskhaq Iskandar, M.Sc selaku Dekan FMIPA UNSRI.
5. Bapak Dr. Hasanudin, M.Si selaku ketua jurusan Kimia FMIPA UNSRI sekaligus pembimbing II.
6. Bapak Dr. Addy Rachmat, M.Si selaku sekretaris Jurusan Kimia FMIPA UNSRI.
7. Bapak Dr. Dedi Rohendi, M.T selaku pembimbing I yang banyak sekali memberikan masukan, solusi maupun motivasi kepada saya ketika menghadapi perkuliahan di jurusan kimia. Semoga bapak selalu diberikan kesehatan oleh Allah dan semoga tetap bermanfaat ilmunya untuk banyak orang.
8. Ibu Dr. Ferlinahayati, M.Si selaku koordinator Seminar jurusan kimia FMIPA UNSRI. Terima kasih juga untuk ibu yang selalu menjadi tempat renza bercerita untuk meminta masukan ketika menghadapi kendala skripsi.
9. Bapak Zainal Fanani, M.Si, ibu Nova Yuliasari M.Si dan ibu Prof. Dr. Elfita, M.Si selaku dosen pembahas dan penguji yang telah membimbing, membantu dan memberikan saran dalam menyelesaikan skripsi ini.
10. Ibu Dra. Fatma, M.S sebagai dosen Pembimbing Akademik yang banyak sekali membantu, memberikan ke renza dalam menghadapi perkuliahan di kampus. Renza ingat pesan ibu ketika konsultasi, “Aktif di organisasi itu boleh, tapi jangan sampai meninggalkan kuliah kamu”.
11. Seluruh staf dosen, analis laboratorium dan admin Jurusan Kimia FMIPA UNSRI atas ilmu yang diberikan dan bantuan yang ikhlas kepada penulis.
12. Keluarga besar tercinta, saudara dan orang-orang terdekatku yang berada di sekelilingku, terima kasih karena kalian selalu mendukung dan mendoakanku.
13. Wak Yuli yang ada di bandung, yang selalu memberikan suntikan motivasi kepadaku ketika terjatuh dan selalu peduli sama renza.
14. Sahabat-sahabatku di Team Mawar (Radian, Ade, Iqbal, Titan, Ridho, Revi) yang membuat hidupku menjadi lebih berwarna, selalu kocak serta ketawa sampai ngakak-ngakak kalau udah kumpul, yang saling mengingatkan dalam

hal kebaikan dan saling membantu kalau ada kesulitan. Paling senang kalau lagi kumpul sama kalian membicarakan tentang kehidupan, terutama dinamika yang terjadi di kampus. Disitu pemikiranku terbuka dan mendapat banyak pelajaran dari diskusi hal-hal penting seperti itu, Hehe..

15. Revi temanku dari SMA sampai sekarang, terima kasih karena dulu sering mengantarku ketika pulang sekolah.
16. Kakak-kakak seniorku di kampus dan SMA 14, terima kasih atas banyak ilmu dan pelajaran yang telah kalian berikan padaku.
17. Adik-adik binaanku di SMA 14 (Andre, Miko, Dimas, Azzar, Ridho, Yusril) yang menjadi pendengar yang baik untuk kk dikala mengisi materi. Terima kasih untuk canda dan tawa dari kalian.
18. Uda robi yang selalu menyediakan tempat menginap di apartemen dikala diriku menginap di kampus.
19. Teman-teman kimia angkatan 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
20. Kakak-kakak dan rekan-rekan yang ada di PUR, terima kasih untuk semua ilmu yang telah diajarkan dan pengalaman yang luar biasa.
21. Alumni BPH (Kak Nirwan, Kak tio, Kak Anik, Kak Niken, Kak Rizky, Kak Deulis, Kak Armalinda, Kak Pemi, Gina, Rima, Ama) dan seluruh anggota COIN yang telah membersamai hari-hari untuk memajukan COIN. Alhamdulillah sampai COIN bisa menjadi Ormawa terbaik di fakultas dan Organisasi keilmiahanaan terbaik tingkat UNSRI di bidang Humas.

Demikianlah, semoga karya kecil ini dapat bermanfaat dalam perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi, khususnya bidang *fuel cell*.

Palembang, 31 Agustus 2020

Penulis

## SUMMARY

### STUDY OF THE EFFECT OF PRESSURE AND TEMPERATURE OF THE PREPARATION OF MEA WITH NAFION 212 MEMBRANE ON THE PERFORMANCE OF MEA

Renza Hidayah Saputra

Supervised by Dr. Dedi Rohendi, M.T and Dr. Hasanudin, M.Si

Department of Chemistry, Faculty of Mathematics and Science Knowledge of Nature , University of Sriwijaya .

xvii + 72 pages , 15 pictures , 5 tables , 5 attachments

Study the effect of pressure and temperature of the preparation of MEA with membrane nafion 212 on the performance of MEA clicking using the catalyst Pt/C on both sides of the electrode has been done. *Membrane Electrode Assembly* (MEA) is made of two electrodes from the anode and cathode coated with the Pt/C catalyst and attached to both sides of the membrane nafion 212. The MEAs were made at pressing temperatures and pressures vary tested its performance. Electrodes were characterized using the *Cyclic Voltammetry* (CV) method to obtain *Electrochemical Surface Area* (ECSA) values and the *Electrochemical Impedance Spectroscopy* (EIS) method to obtain electrical conductivity data . Based on the resulting CV data information, the ECSA value of the Pt/C electrode is  $2.657 \text{ cm}^2/\text{g}$ . Test the conductivity of electrically electrode obtained results that the electrode Pt/C has a value of conductivity of  $2.36 \times 10^{-2} \text{ S / cm}$ . Value OCV ( *Open Circuit Voltage* ) highest in the variation of pressure pengepre s san MEA with the temperature constant  $135^\circ\text{C}$  is shown in pressure of 2200 psi at 0.137 V . Value OCV highest on the variation of temperature presses an MEA with pressure optimum 2200 psi shown at a temperature of  $145^\circ\text{C}$  of 0.32 V. The pressure of 2200 psi is the optimum pressure for MEA performance testing with a maximum power density of  $1.447 \text{ mW/cm}^2$  at a current density of  $12.16 \text{ mA/cm}^2$ . While it is, variations in the temperature of  $145^\circ\text{C}$  is a temperature optimum at pressure of 2200 psi with a density of power maximum of  $4.13 \text{ mW/cm}^2$  at a density current  $13.28 \text{ mA/cm}^2$ . In addition to the influence of the power density of the *I-P performance* curve, MEA performance can be seen from the *I-V performance* curve. The curve *I-V performance* that is good is the curve of the most gentle, which means to have the ability to maintain the voltage as the increased flow. The highest voltage value at the MEA pressure variation is 2200 psi at  $1.447 \text{ V}$  at a current density of  $12.16 \text{ mA / cm}^2$ , while the highest voltage value at the MEA temperature variation is  $145^\circ\text{C}$  at  $4.1301 \text{ V}$  at a current density of  $13.28 \text{ mA/cm}^2$ .

**Keywords : MEA, PEMFC, Pressure Pressing, Temperature Pressing**

## RINGKASAN

### STUDI PENGARUH TEKANAN DAN TEMPERATUR PREPARASI MEA DENGAN MEMBRAN NAFION 212 TERHADAP KINERJA MEA

Renza Hidayah Saputra

Dibimbing oleh Dr. Dedi Rohendi, M.T dan Dr. Hasanudin, M.Si

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

xvii + 72 halaman, 15 gambar, 5 tabel, 5 lampiran

Studi pengaruh tekanan dan temperatur preparasi MEA dengan membran nafion 212 terhadap kinerja MEA menggunakan katalis Pt/C pada kedua sisi elektroda telah dilakukan. *Membrane Electrode Assembly* (MEA) dibuat dari dua elektroda dari anoda dan katoda yang dilapisi katalis Pt/C dan ditempelkan pada kedua sisi membran nafion 212. MEA yang dibuat pada temperatur dan tekanan pengepressan bervariasi diuji kinerjanya. Elektroda dikarakterisasi menggunakan metode *Cyclic Voltammetry* (CV) untuk mendapatkan nilai *Electrochemical Surface Area* (ECSA) dan metode *Electrochemical Impedance Spectroscopy* (EIS) untuk mendapatkan data konduktivitas elektrik. Berdasarkan informasi data CV yang dihasilkan, nilai ECSA elektroda Pt/C adalah  $2,657 \text{ cm}^2/\text{g}$ . Uji konduktivitas elektrik elektroda didapatkan hasil bahwa elektroda Pt/C memiliki nilai konduktivitas sebesar  $2,36 \times 10^{-2} \text{ S/cm}$ . Nilai OCV (*Open Circuit Voltage*) tertinggi pada variasi tekanan pengepressan MEA dengan temperatur konstan  $135^\circ\text{C}$  ditunjukkan pada tekanan 2200 psi sebesar 0,137 V. Nilai OCV tertinggi pada variasi temperatur pengepressan MEA dengan tekanan optimum 2200 psi ditunjukkan pada temperatur  $145^\circ\text{C}$  sebesar 0,32 V. Tekanan 2200 psi merupakan tekanan optimum pengujian kinerja MEA dengan kerapatan daya maksimum sebesar  $1,447 \text{ mW/cm}^2$  pada kerapatan arus  $12,16 \text{ mA/cm}^2$ . Sementara itu, variasi temperatur  $145^\circ\text{C}$  merupakan temperatur optimum pada tekanan 2200 psi dengan kerapatan daya maksimum sebesar  $4,13 \text{ mW/cm}^2$  pada kerapatan arus  $13,28 \text{ mA/cm}^2$ . Selain pengaruh kerapatan daya dari kurva *I-P performance*, kinerja MEA dapat dilihat dari kurva *I-V performance*. Kurva *I-V performance* yang baik adalah kurva yang paling landai, yang artinya memiliki kemampuan mempertahankan tegangan seiring meningkatnya arus. Nilai tegangan tertinggi pada variasi tekanan MEA adalah 2200 psi sebesar 1,447 V pada kerapatan arus  $12,16 \text{ mA/cm}^2$ , sedangkan nilai tegangan tertinggi pada variasi temperatur MEA adalah  $145^\circ\text{C}$  sebesar 4,1301 V pada kerapatan arus  $13,28 \text{ mA/cm}^2$ .

**Kata Kunci :** MEA, PEMFC, Tekanan Pengepresan, Temperatur Pengepresan

## DAFTAR ISI

	Halaman
<b>HALAMAN JUDUL.....</b>	i
<b>HALAMAN PENGESAHAN .....</b>	ii
<b>HALAMAN PERSETUJUAN.....</b>	iii
<b>SUMMARY .....</b>	iv
<b>RINGKASAN .....</b>	v
<b>DAFTAR ISI.....</b>	vi
<b>DAFTAR GAMBAR .....</b>	ix
<b>DAFTAR TABEL.....</b>	x
<b>DAFTAR LAMPIRAN.....</b>	xi
<b>BAB I PENDAHULUAN.....</b>	1
1.1. Latar Belakang .....	1
1.2. Rumusan Masalah .....	3
1.3. Tujuan Penelitian .....	3
1.4. Manfaat Penelitian .....	3
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....</b>	4
2.1. Pengertian dan Perkembangan <i>Fuel Cell</i> .....	4
2.2. Prinsip Kerja Fuel Cell .....	5
2.3. <i>Proton Exchange Membrane Fuel Cell (PEMFC)</i> .....	6
2.4. Komponen Penyusun PEMFC .....	8
2.4.1 Plat Bipolar .....	8
2.4.2 MEA ( <i>Membrane Electrode Assembly</i> ) .....	9
2.4.3 Gasket.....	10
2.4.4 Plat Penutup (End Plate) .....	11
2.5. Faktor Penentu Kinerja MEA.....	11
2.5.1 Membrane Nafion .....	11
2.5.2 Elektroda .....	12
2.5.3 Kondisi Operasi Pembuatan MEA .....	13
2.6. Karakteristik Elektroda .....	14

2.6.1 <i>Cyclic Voltammetry (CV)</i> .....	14
2.6.4 <i>Electrochemical Impedance Spectroscopy (EIS)</i> .....	16
2.7. Kinerja MEA .....	17
2.7.1 <i>Open Circuit Voltage (OCV)</i> .....	17
2.7.2 Kurva Polarisasi.....	18
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....</b>	<b>19</b>
3.1. Waktu dan Tempat .....	19
3.2. Alat dan Bahan .....	19
3.3. Prosedur Penelitian.....	19
3.3.1 Persiapan GDL.....	19
3.3.2 Pembuatan Elektroda dengan Katalis Pt/C.....	20
3.3.3 Pembuatan MEA ( <i>Membrane Electrode Assembly</i> ). ...	20
3.3.3.1 Pembuatan MEA pada Temperatur dan Tekanan Pengepresan Bervariasi.....	20
3.4 Karakterisasi Elektroda Pt/C .....	21
3.4.1 Pengujian Sifat Elektrokimia Menggunakan Metode CV .....	21
3.4.2 Pengukuran Konduktivitas Elektrik Menggunakan Metode EIS .....	21
3.5 Pengujian Kinerja MEA pada PEMFC dengan Variasi Temperatur dan Tekanan Pengepresan Bervariasi .....	22
3.5.1 Pengujian Kinerja MEA pada PEMFC dengan Variasi Tekanan Pengepresan.....	22
3.5.2 Pengujian Kinerja MEA pada PEMFC Berdasarkan Variasi Temperatur Pengepressan.....	22
3.6 Analisis Data.....	23
3.6.1 Analisis Karakterisasi Elektroda Pt/C.....	23
3.6.1.1 Analisis CV ( <i>Cyclic Voltammetry</i> ) .....	23
3.6.1.2 Analisis EIS ( <i>Electrochemical Impedance                 Spectroscopy</i> ).....	23
3.6.2 Analisis Kinerja MEA terhadap PEMFC .....	23

<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	24
4.1 Pembuatan GDL ( <i>Gas Diffusion Layer</i> ) Menggunakan Metode <i>Spraying</i> .....	24
4.2 Pembuatan Elektroda dengan Metode Spraying .....	24
4.3 Karakterisasi Elektroda .....	25
4.3.1 Karakterisasi Elektroda Menggunakan Metode CV ( <i>Cyclic Voltammetry</i> ) .....	25
4.3.2 Karakterisasi Elektroda Menggunakan Metode EIS ( <i>Electrochemical Impedance Spectroscopy</i> ).....	28
4.3.3 Nilai Konduktivitas Elektrik pada Elektroda Pt/C.....	29
4.4 Pembuatan dan Pengujian Kinerja MEA pada PEMFC .....	30
4.4.1 Pembuatan MEA pada Temperatur dan Tekanan Pengepressan Bervariasi.....	30
4.4.2 Pengujian Kinerja MEA .....	31
4.4.2.1 Pengukuran OCV ( <i>Open Circuit Voltage</i> ).....	31
4.4.2.2 Pengujian Kinerja MEA pada Variasi Tekanan Pengepressan.....	32
4.4.2.4 Pengujian Kinerja MEA pada Variasi Temperatur.....	35
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	38
5.1 Kesimpulan .....	38
5.2 Saran.....	38
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>	39
<b>LAMPIRAN.....</b>	45

## DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 1. Mekanisme Dasar Sistem Fuel Cell .....	5
Gambar 2. Skema kerja PEMFC .....	7
Gambar 3. Skema <i>stack</i> PEMFC .....	9
Gambar 4. Resolusi Tinggi dari Elektrokatalis yang didukung karbon .....	13
Gambar 5. Skema CV ( <i>Cyclic Voltammetry</i> ).....	16
Gambar 6. Skema diagram galvanostat .....	16
Gambar 7. Perpindahan Ion dalam suatu Elektrolit.....	17
Gambar 8. Polarisasi pada <i>Fuel Cell</i> .....	18
Gambar 9. Elektroda dengan Katalis Pt/C .....	25
Gambar 10. Voltagrogram elektroda dengan katalis Pt/C .....	26
Gambar 11. Kurva Impedansi Elektroda Pt/C .....	28
Gambar 12. Grafik Kerapatan Arus Terhadap Tegangan pada MEA dengan Variasi Tekanan pada Temperatur 135°C .....	33
Gambar 13. Grafik Kerapatan Arus terhadap Kerapatan Daya pada MEA dengan Variasi Tekanan pada temperatur 135°C .....	34
Gambar 14. Grafik Kerapatan Arus terhadap Tegangan pada MEA dengan Variasi Temperatur pada tekanan 2200 psi.....	35
Gambar 15. Grafik Kerapatan Arus terhadap Kerapatan Daya pada MEA dengan Variasi Temperatur pada tekanan 2200 psi .....	36

## **DAFTAR TABEL**

	Halaman
Tabel 1. Nilai Konduktivitas Elektroda Pt/C .....	30
Tabel 2. Data OCV Pengamatan MEA dengan Variasi Tekanan pada Temperatur 135°C .....	31
Tabel 3. Data OCV Pengamatan MEA dengan Variasi Temperatur pada Tekanan 2200 psi .....	31
Tabel 4. Data Kerapatan Arus dan Kerapatan Daya Maksimum pengamatan MEA pada Variasi Tekanan .....	34
Tabel 5. Data Kerapatan Arus dan Kerapatan Daya Maksimum pengamatan MEA pada Variasi Temperatur .....	37

## **DAFTAR LAMPIRAN**

	Halaman
Lampiran 1. Skema Kerja .....	47
Lampiran 2. Perhitungan Kandungan Komponen Pt/C .....	48
Lampiran 3. Diagram Voltammogram dan Nilai ECSA .....	49
Lampiran 4. Data EIS dan Nilai Konduktivitas Elektroda .....	52
Lampiran 5. Gambar Alat dan Penelitian .....	55

## BAB 1

### PENDAHULUAN

#### 1.1 Latar Belakang

Energi merupakan kebutuhan dasar manusia, yang terus meningkat seiring dengan perjalanan waktu. Energi fosil menjadi sangat dominan digunakan oleh manusia. Saat ini untuk memenuhi kebutuhan energi, salah satunya adalah BBM (Bahan Bakar Minyak) memegang posisi yang sangat dominan dalam pemenuhan energi. Kekayaan sumber daya alam seperti tenaga air (Hydropower), panas bumi, biomassa, gambut dan gas dapat dimanfaatkan sebagai energi alternatif, untuk menggantikan bahan bakar minyak yang semakin terbatas jumlah dan cadangannya (Kholid, 2015).

Hidrogen merupakan energi alternatif dalam pengembangan energi terbarukan. Selain unsurnya yang melimpah di alam, penggunaan hidrogen sebagai energi baru sangat ramah lingkungan dan tidak menimbulkan emisi gas. Hal inilah yang menjadi landasan munculnya aplikasi energi terbarukan dari proses reaksi elektrokimia yang menggunakan unsur hidrogen dan oksigen yaitu Fuel Cell (Maheshwari *et al.*, 2018).

Fuel cell adalah sel elektrokimia yang dapat mengubah energi kimia menjadi energi listrik. Semua struktur dasar pada proses reaksinya melibatkan lapisan elektrolit yang bereaksi dengan elektroda yaitu anoda (hidrogen) dan katoda (oksigen) pada kedua sisi elektrolit. Elektroda pada anoda dan katoda dipisahkan oleh elektrolit, dimana pada anoda dialirkan gas hidrogen yang akan menghasilkan elektron bebas dan  $H^+$  dan pada katoda dialirkan gas oksigen yang akan menerima elektron bebas dan ion  $H^+$  (Nantes and Bp, 2007).

Salah satu jenis fuel cell yang sering digunakan adalah PEMFC (*Proton Exchange Membrane Fuel Cell*). Secara teori kinerja dari PEMFC menghasilkan tegangan hingga 1,23 V saat dioperasikan dalam keadaan tanpa beban (*Open Circuit Voltage*). Pada kondisi ideal yang tergantung pada tekanan dan temperatur, PEMFC dapat menghasilkan tegangan maksimum 1,23 V. Tegangan ideal tersebut biasa disebut dengan tegangan Nernst, tetapi pada kenyataannya tegangan yang dihasilkan jauh dibawah tegangan ideal tersebut dan berkurang

dengan meningkatnya kerapatan arus (Achard, Metkemeijer and Horde, 2012). Pada fuel cell jenis DMFC (*Direct Methanol Fuel Cell*), dimana nilai OCV pada teori dan pengukuran aslinya sering berbeda. Hal tersebut terjadi karena adanya *methanol crossover*, dimana *methanol* menyebrang melalui membran dari anoda ke sisi katoda yang dapat mengurangi tegangan pada katoda, sehingga tegangan keseluruhan sel akan semakin berkurang. Kelebihan dari PEMFC yaitu memiliki kerapatan daya yang tinggi, efisiensi tinggi dan emisi yang rendah. Pengembangan fuel cell PEMFC untuk aplikasi komersial, sangat tergantung pada kinerja dari MEA (*Membrane Electrode Assembly*).

MEA terdiri dari elektroda anoda (hidrogen) yang merupakan tempat oksidasi hidrogen dan katoda (oksigen) merupakan tempat reduksi oksigen, yang mengapit membran nafion 212 pada kedua sisinya. Membran nafion 212 digunakan pada proses pembuatan MEA jenis PEMFC, dimana membran nafion 212 memiliki permukaan yang lebih tipis dan lebih efektif untuk analisis gas hidrogen. MEA merupakan suatu komponen terpenting pada PEMFC yang merupakan tempat terjadinya konversi bahan bakar dan oksidan menjadi listrik dan air. Selain itu MEA juga memiliki fungsi yang sangat efisien untuk mengontrol aliran elektron yang dibebaskan pada reaksi (Vengatesan *et al.*, 2008).

Salah satu faktor yang berpengaruh terhadap kinerja MEA pada PEMFC adalah tekanan dan temperatur pengepresan pada proses pembuatannya. Banyak penelitian yang menyebutkan tentang degradasi elektroda terhadap katalis dan luas permukaan MEA yang diakibatkan oleh rendahnya tekanan dan temperatur dalam proses pembuatannya karena memiliki efisiensi termodinamika yang rendah. Selain itu pembuatan MEA juga sering dilakukan pada suhu 135°C, karena memiliki efisiensi termodinamika yang tinggi dan dapat mengatur termal yang disederhanakan (Prasanna *et al.*, 2008).

Berdasarkan penelitian apichai et al (2007) menyebutkan bahwa pengaruh temperatur dan tekanan MEA terhadap PEMFC akan menyebabkan terjadinya variasi kerapatan daya yang mempengaruhi kinerja dari PEMFC. Kinerja MEA dari setiap pengepresan dapat dilihat melalui kurva polarisasi, dimana kurva polarisasi tersebut terdiri dari nilai densitas arus dan densitas daya (Schulze *et al.*, 2007)

Berdasarkan sifat-sifat itulah, maka dilakukan studi pengaruh temperatur dan tekanan pengepresan pada proses pembuatan MEA dengan membran nafion 212 terhadap kinerjanya. MEA dibuat dengan penekanan panas kedua elektroda pada tekanan bervariasi. Variasi tekanan yang digunakan yaitu 1800 psi, 2000 psi dan 2200 psi. Selain menggunakan tekanan bervariasi, pembuatan MEA juga dilakukan pada temperatur yang bervariasi yaitu 125°C, 135°C dan 145°C.

## 1.2 Rumusan Masalah

Salah satu faktor yang berpengaruh terhadap kinerja MEA terhadap PEMFC adalah tekanan dan temperatur pengepresan pada proses pembuatannya. Apichai et al (2007) menyebutkan bahwa pengaruh tekanan dan temperatur MEA terhadap PEMFC akan menyebabkan terjadinya variasi kerapatan daya yang mempengaruhi kinerja PEMFC.

Berdasarkan hal tersebut, maka dilakukan studi pengaruh temperatur dan tekanan proses pembuatan MEA dengan membran 212 terhadap kinerjanya. Pada penelitian ini katalis Pt/C akan digunakan sebagai katoda dan anoda. Selain itu, dilakukan pengepresan pada kedua MEA dengan variasi tekanan dan temperatur. Variasi tekanan yang digunakan yaitu 1800 psi, 2000 psi dan 2200 psi, sedangkan variasi temperatur yang digunakan yaitu 125°C, 135°C dan 145°C.

## 1.3 Tujuan Penelitian

1. Membuat dan menguji kinerja MEA pada kondisi tekanan dan temperatur pengepresan yang berbeda.
2. Menentukan pengaruh variabel tekanan dan temperatur pengepresan terhadap parameter kerapatan arus, tegangan dan kerapatan daya.
3. Menentukan kondisi variabel temperatur dan tekanan pengepresan untuk mendapatkan parameter optimum.

## 1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian yang dilakukan agar dapat memberikan pengaruh terhadap pengembangan teknologi terbarukan fuel cell dalam hal pengaruh tekanan dan temperatur proses pembuatan MEA terhadap kinerjanya.

## DAFTAR PUSTAKA

- Achard, P., Metkemeijer, R. and Horde, T. (2012) ‘PEMFC application for aviation: Experimental and numerical study of sensitivity to altitude’, 7(0). doi : 10.1016/j.ijhydene.2012.04.085.
- Andrienko, D. (2008) ‘Cyclic Voltammetry’.
- Behari, P. *et al.* (2011) ‘Performance study of power density in PEMFC for power generation from solar energy’, *Renewable Energy*. Elsevier Ltd, 36(12), pp. 3305–3312. doi : 10.1016/j.renene.2011.05.001.
- Boaventura, M. and Mendes, A. (2010) ‘Activation Procedures Characterization of MEA based on Phosphoric Acid Doped PBI Membranes’, *International Journal of Hydrogen Energy*. Elsevier Ltd, pp. 1–12. doi : 10.1016/j.ijhydene.2010.03.137.
- Brunetto, C., Moschetto, A. and Tina, G. (2009) ‘PEM fuel cell testing by electrochemical impedance spectroscopy’, 79, pp. 17–26. doi : 10.1016/j.epsr.2008.05.012.
- Bruno, V. and Rouboa, A. (2012) ‘Hydrogen-fed PEMFC : Overvoltage analysis during an activation procedure’, *Journal of Electroanalytical Chemistry*. Elsevier B.V., 671, pp. 58–66. doi: 10.1016/j.jelechem.2012.02.013.
- Chandan, A. *et al.* (2013) ‘High temperature ( HT ) polymer electrolyte membrane fuel cells ( PEMFC ) e A review’, *Journal of Power Sources*. Elsevier B.V, 231, pp. 264–278. doi : 10.1016/j.jpowsour.2012.11.126.
- Chu, H. *et al.* (2008) ‘The development of a small PEMFC combined heat and power system’, 176(195), pp. 499–514. doi : 10.1016/j.jpowsour.2007.08.072.
- Cooper, K. (2009) ‘Laboratory #4 – Fuel Crossover by Linear Sweep Voltammetry & Electrochemical Surface Area by Cyclic Voltammetry’, pp. 1–3.
- Ding, K. and Cheng, F. (2009) ‘Cyclic voltammetrically prepared MnO<sub>2</sub> – PPY composite material and its electrocatalysis towards oxygen reduction reaction (ORR)’, 159, pp. 2122–2127. doi : 10.1016/j.synthmet.2009.08.005.

- Easton, E. B. and Pickup, P. G. (2005) ‘An Electrochemical Impedance Spectroscopy Study of Fuel Cell Electrodes’, 50(August 2004), pp. 2469–2474. doi : 10.1016/j.electacta.2004.10.074.
- Fern, R., Ferreira-aparicio, P. and Daza, L. (2005) ‘PEMFC Electrode Preparation: Influence of The Solvent Composition and Evaporation Rate on The Catalytic Layer Microstructure’, 151, pp. 18–24. doi : 10.1016/j.jpowsour.2005.02.048.
- Giddey, S., Ciacchi, F. T. and Badwal, S. P. S. (2004) ‘Design , assembly and operation of polymer electrolyte membrane fuel cell stacks to 1 kW e capacity’, 125, pp. 155–165. doi : 10.1016/j.jpowsour.2003.08.026.
- Gomadam, P. M. and Weidner, J. W. (2005) ‘Analysis of electrochemical impedance spectroscopy in proton exchange membrane fuel cells’, (March), pp. 1133–1151. doi : 10.1002/er.1144.
- Gregor, J. and Sørli, H. (2008) ‘Contribution of humidity and pressure to PEMFC performance and durability’, (June).
- Gunawan, R. and Panggabean, S. (2013) ‘Studi Komputasi Reaksi Aadsorbsi Disosiasi Gas O<sub>2</sub> Pada Permukaan Pt-Fe Dengan Metode Teori Fungsi Kerapatan Computational Study Of O<sub>2</sub> Adsorption Dissociation Reaction At Pt-Fe Surface With Density Functional Theory Method’, 10, pp. 63–67.
- Harrington, D. A., Canut, J. M. Le and Mclean, G. (2006) ‘Characterisation of proton exchange membrane fuel cell ( PEMFC ) failures via electrochemical impedance spectroscopy’, 161, pp. 264–274. doi: 10.1016/j.jpowsour.2006.03.067.
- Hou, Y. *et al.* (2014) ‘ScienceDirect AC impedance characteristics of a vehicle PEM fuel cell stack under strengthened road vibrating conditions’, *International Journal of Hydrogen Energy*. Elsevier Ltd, 39(32), pp. 18362–18368. doi: 10.1016/j.ijhydene.2014.09.054.
- Kamarudin, S. K. *et al.* (2004) ‘The conceptual design of a PEMFC system via simulation’, 103(January), pp. 99–113. doi: 10.1016/j.cej.2004.06.002.
- 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*.

- Elsevier Ltd, 36(20), pp. 13266–13271. doi : 10.1016/j.ijhydene.2010.08.088.
- Kholiq, I. (2015) ‘Pemanfaatan energi alternatif sebagai energi terbarukan untuk mendukung substitusi bbm’, *Jurnal IPTEK*, 19, pp. 75–91.
- Koponen, U. et al. (2003) ‘Characterization of Pt-based catalyst materials by voltammetric techniques’, 118, pp. 325–333. doi: 10.1016/S0378-7753(03)00079-X.
- Larbi, B. et al. (2012) ‘Effect of porosity and pressure on the PEM fuel cell performance’, *International Journal of Hydrogen Energy*. Elsevier Ltd, pp. 1–8. doi : 10.1016/j.ijhydene.2012.11.022.
- 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*. Elsevier Ltd, 37(7), pp. 5891–5900. doi : 10.1016/j.ijhydene.2011.12.152.
- Li, G. et al. (2015) ‘ScienceDirect Carbonation effects on the performance of alkaline polymer electrolyte fuel cells’, *International Journal of Hydrogen Energy*. Elsevier Ltd, 40(20), pp. 6655–6660. doi : 10.1016/j.ijhydene.2015.03.119.
- Li, M. and Scott, K. (2010) ‘Electrochimica Acta A polymer electrolyte membrane for high temperature fuel cells to fit vehicle applications’, *Electrochimica Acta*. Elsevier Ltd, 55(6), pp. 2123–2128. doi : 10.1016/j.electacta.2009.11.044.
- 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*. Elsevier B.V, 288, pp. 121–127. doi : 10.1016/j.jpowsour.2015.04.123.
- 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, pp. 1383–1392. doi : 10.1016/j.jpowsour.2009.09.038.
- Lin, R. et al. (2011) ‘Electro-catalytic Activity of Enhanced CO Tolerant Cerium-promoted Pt / C Catalyst for PEM Fuel Cell Anode’, *International Journal of Hydrogen Energy*. Elsevier Ltd, (2010), pp. 1–9. doi :

- 10.1016/j.ijhydene.2011.05.021.
- Maheshwari, K. *et al.* (2018) ‘Fuel Cell and Its Applications : A Review’, 7(06), pp. 6–9.
- Mahmud, K. (2013) ‘Fuel Cell and Renewable Hydrogen Energy to Meet Household Energy Demand 2 . Global Primary Energy Consumption’, 54, pp. 97–104.
- Matamoros, L. and Br, D. (2007) ‘Concentration and Ohmic Losses in Free-breathing PEMFC’, 173, pp. 367–374. doi : 10.1016/j.jpowsour.2007.02.091.
- 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).
- Nantes, E. C. and Bp, N. (2007) ‘Fuel Cell Technology And Application’.
- Pandiyan, S. *et al.* (2013) ‘Design and Analysis of a Proton Exchange Membrane Fuel Cells ( PEMFC )’, *Renewable Energy*. Elsevier Ltd, 49, pp. 161–165. doi : 10.1016/j.renene.2012.01.040.
- Panteix, P. J. *et al.* (2008) ‘Influence of Cationic Vacancies on The Ionic Conductivity Of Oxyapatites’, 28, pp. 821–828. doi : 10.1016/j.jeurceramsoc.2007.07.019.
- Pozio, A. *et al.* (2002) ‘Comparison of high surface Pt / C catalysts by cyclic voltammetry’, 105(March 2001), pp. 13–19.
- Prasanna, M. *et al.* (2008) ‘Electrochimica Acta Effects of MEA Fabrication Method on Durability of Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cells’, 53, pp. 5434–5441. doi : 10.1016/j.electacta.2008.02.068.
- Radev, I. *et al.* (2008) ‘Proton Conductivity Measurements of PEM Performed in EasyTest Cell’, 33, pp. 4849–4855. doi : 10.1016/j.ijhydene.2008.06.056.
- Rajalakshmi, N. and Dhathathreyan, K. S. (2007) ‘Catalyst Layer in PEMFC electrodes — Fabrication , Characterisation and Analysis’, 129, pp. 31–40. doi : 10.1016/j.cej.2006.10.035.
- 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', (November), pp. 61–66.
- Schulze, M. *et al.* (2007) 'Combined Electrochemical and Surface Analysis Investigation of Degradation Processes in Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cells', 52, pp. 2328–2336. doi : 10.1016/j.electacta.2006.05.063.
- Shan, J. and Pickup, P. G. (2000) 'Characterization of polymer supported catalysts by cyclic voltammetry and rotating disk voltammetry', 46, pp. 119–125.
- Shao, Y. *et al.* (2007) 'Proton Exchange Membrane Fuel Cell From Low Temperature to High Temperature : Material challenges', 167, pp. 235–242. doi : 10.1016/j.jpowsour.2007.02.065.
- Starz, K. A. *et al.* (1999) 'Characteristics of platinum-based electrocatalysts for mobile PEMFC applications', pp. 3–8.
- Su, A., Ming, Y. and Ching, J. (2009) 'Experimentally and Numerically Investigating Cell Performance and Localized Characteristics For a High-Temperature Proton Exchange Membrane Fuel Cell', *Applied Thermal Engineering*. Elsevier Ltd, 29(16), pp. 3409–3417. doi : 10.1016/j.applthermaleng.2009.05.019.
- 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, pp. 1–7. doi : 10.1016/j.ijhydene.2010.06.070.
- Suhada, H. (2001) 'Fuel Cell Sebagai Penghasil Energi Abad 21', 3(2), pp. 92–99.
- 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*. Elsevier Ltd, 35(7), pp. 2921–2925. doi: 10.1016/j.ijhydene.2009.05.049.
- Therdthianwong, A., Manomayidthikarn, P. and Therdthianwong, S. (2007) 'Investigation of Membrane Electrode Assembly (MEA) hot-pressing Parameters For Proton Exchange Membrane fuel cell', 32, pp. 2401–2411. doi : 10.1016/j.energy.2007.07.005.
- Tirnovan, R. and Giurgea, S. (2012) 'Efficiency improvement of a PEMFC power source by optimization of the air management', *International Journal of Hydrogen Energy*. Elsevier Ltd, 37(9), pp. 7745–7756. doi:

- 10.1016/j.ijhydene.2012.02.029.
- Vengatesan, S. *et al.* (2008) ‘High Temperature Operation of PEMFC : A Novel Approach using MEA With Silica in Catalyst Layer’, 33, pp. 171–178. doi : 10.1016/j.ijhydene.2007.09.021.
- Wang, M. *et al.* (2005) ‘Defining catalyst layer ingredients in PEMFC by orthogonal test and C – V method’, 30, pp. 381–384. doi: 10.1016/j.ijhydene.2004.09.018.
- Wang, S. J. *et al.* (2011) ‘Portable PEMFC stack using sulfonated poly ( fluorenyl ether ketone ) ionomer as membrane’, *International Journal of Hydrogen Energy*. Elsevier Ltd, 37(5), pp. 4539–4544. doi: 10.1016/j.ijhydene.2011.09.138.
- Wu, J. *et al.* (2008) ‘Diagnostic tools in PEM fuel cell research: Part I Electrochemical techniques’, 33, pp. 1735–1746. doi: 10.1016/j.ijhydene.2008.01.013.
- Xu, H., Kunz, H. R. and Fenton, J. M. (2007) ‘Analysis of proton exchange membrane fuel cell polarization losses at elevated temperature 120 °C and reduced relative humidity’, 52, pp. 3525–3533. doi: 10.1016/j.electacta.2006.10.015.
- Yuan, X. *et al.* (2007) ‘AC Impedance Technique in PEM Fuel Cell Diagnosis — A review’, 32, pp. 4365–4380. doi : 10.1016/j.ijhydene.2007.05.036.
- Zhang, Jianlu *et al.* (2006) ‘Short communication PEM Fuel Cell Open Circuit Voltage (OCV) in the Temperature Range of 23°C to 120°C’, 163, pp. 532–537. doi: 10.1016/j.jpowsour.2006.09.026.
- 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*. Elsevier Ltd, 35(17), pp. 9261–9268. doi : 10.1016/j.ijhydene.2010.04.019.
- Zhou, P. *et al.* (2011) ‘Effect of nonuniformity of the contact pressure distribution on the electrical contact resistance in proton exchange membrane fuel cells’, 6, pp. 3–8. doi : 10.1016/j.ijhydene.2011.01.080.