

**PENGARUH LAJU ALIR GAS DAN SUHU *HUMIDIFIER* TERHADAP
KINERJA *MEMBRANE ELECTRODE ASSEMBLY* (MEA) DENGAN
KATALIS Ti-Co/C PADA PEMFC STEK TUNGGAL**

SKRIPSI

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



Oleh:

MUHAMMAD PRIMA UTAMA

08031381823058

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

2022

HALAMAN PENGESAHAN

**PENGARUH LAJU ALIR GAS DAN SUHU *HUMIDIFIER* TERHADAP
KINERJA *MEMBRANE ELECTRODE ASSEMBLY* (MEA) DENGAN
KATALIS Ti-Co/C PADA PEMFC STEK TUNGGAL**

SKRIPSI

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

Oleh :

MUHAMMAD PRIMA UTAMA

08031381823058

Indralaya, 16 September 2022

Mengetahui,

Pembimbing I



Dr. Dedi Rohendi, M.T

NIP. 196704191993031001

Pembimbing II



Dr. Eliza, M.Si

NIP. 196407291991022001

Dekan FMIPA



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

NIP. 197111191997021001

HALAMAN PERSETUJUAN

Karya tulis ilmiah berupa skripsi ini dengan judul “Pengaruh Laju Alir Gas Hidrogen dan Suhu *Humidifier* terhadap Kinerja *Membrane Electrode Assembly* (MEA) dengan Katalis Ti-Co/C Pada PEMFC Stek Tunggal”, telah dipertahankan dihadapan Tim Penguji Sidang Sarjana Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Sriwijaya pada tanggal 5 September 2022 dan telah diperbaiki, diperiksa serta disetujui sesuai masukan yang diberikan.

Indralaya, 16 September 2022

Ketua :

1. **Prof. Poedji Loekitowati, M.Si.** ()
NIP. 196808271994022001

Sekretaris :


1. **Dr. Addy Rachmat, M.Si.** ()
NIP. 1974092820001210001


Pembimbing:

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

2. **Dr. Eliza, M.Si.** ()
NIP. 196407291991022001

Penguji:

3. **Widia Purwaningrum, M.Si.** ()
NIP. 197304031999032001

4. **Fahma Riyanti, M.Si** ()
NIP. 197202052000032001

Mengetahui,


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


Ketua Jurusan Kimia
Prof. Dr. Mubarni, M.Si.
NIP. 196903041994122001

PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama Mahasiswa : Muhammad Prima Utama

NIM : 08031381823058

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, 16 September 2022

Penulis



Muhammad Prima Utama
NIM. 08031381823058

HALAMAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

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

Nama Mahasiswa : Muhammad Prima Utama
NIM : 08031381823058
Fakultas/Jurusan : MIPA/Kimia
Jenis Karya : Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, saya menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Sriwijaya (hak bebas royalti non-eksklusif (*non-exclusively royalty-free right*) atas karya ilmiah saya yang berjudul : “Pengaruh Laju Alir Gas Hidrogen dan Suhu *Humidifier* terhadap Kinerja *Membrane Electrode Assembly* (MEA) dengan Katalis Ti-Co/C Pada PEMFC Stek Tunggal”. 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, 16 September 2022

Yang menyatakan,



Muhammad Prima Utama
NIM. 08031381823058

HALAMAN PERSEMBAHAN

“Hati yang ikhlas dan doa yang tulus adalah dua tantara yang tak terkalahkan”
(Ibnu Taimiyah)

“Jangan hanya melihat senangnya, coba pahami dan rasakan sedihnya, pahit manisnya hidup setiap orang pasti merasakan dan sesungguhnya hidup yang tak pernah diuji sebenarnya tak layak untuk dijalani”

*Untuk kedua orang tua dan keluarga
serta teman-teman
Almamaterku
Skripsi ini kupersembahkan untuk kalian*

“Akhir dari penderitaan menghasilkan jiwa yang kuat; karakter terkuat ditandai oleh bekas luka”
(Kahlil Gibran)

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT atas ridho dan izin-Nya lah penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan judul “Pengaruh Laju Alir Gas Hidrogen dan Suhu *Humidifier* terhadap Kinerja *Membrane Electrode Assembly* (MEA) dengan Katalis Ti-Co/C Pada PEMFC Stek Tunggal” sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana sains bidang kimia. Penulisan skripsi ini tidak luput dari bantuan, bimbingan, serta doa dari banyak pihak yang terlibat terutama Bapak Dr. Dedi Rohendi, M.T serta ibu Dr. Eliza, M.Si yang telah memberikan banyak kebaikan dan kemudahan kepada penulis selama ini. Penulis juga ingin mengucapkan terima kasih kepada :

1. Bapak Prof. Hermansyah, S.Si, M.Si, Ph.D selaku dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam.
2. Ibu Prof. Dr. Muharni, M.Si selaku ketua jurusan Kimia dan bapak Dr. Addy Rachmat, M.Si selaku sekretaris jurusan Kimia.
3. Ibu Widia Purwaningrum, M.Si. dan Ibu Fahma Riyanti, M.Si. selaku dosen penguji sidang sarjana dan Bapak Dr. Muhammad Said, M.T selaku dosen pembahas seminar hasil.
4. Kak Iin dan mbak Novi selaku admin jurusan kimia yang telah membantu proses administrasi serta membantu dalam proses pendaftaran seminar dari awal hingga selesai.
5. Kedua orang tua yang telah memberikan doa, semangat serta membimbing hingga penulis bisa menjadi seperti sekarang
6. Saudara/I kandung penulis yang telah men *support* penulis dari awal perkuliahan hingga penulis menyelesaikan perkuliahan.
7. Teman-teman semasa perkuliahan terima kasih telah kebersamai penulis dalam bangku perkuliahan dalam susah senang semoga kedepannya sukses bersama-sama, untuk yang masih berjuang untuk sidang semangat, ibal, mandor, tiur, yang sudah sidang juga semangat menempuh arah yang baru, ekon, sandi, tejak, ilyas.
8. Teman-teman di laboratorium yang telah kebersamai selama penelitian terutama tim penulis, Tejak dan Keke semoga kalian sukses selalu dan segera

menentukan arah tujuan, terima kasih telah membantu penulis selama melaksanakan kegiatan penelitian. teman-teman laboratorium tim yang lain juga, Devi, Ekon, Anin, Ade, Dinda, Ghifar, Nadia, Iren terima kasih telah membantu selama kegiatan penelitian berlangsung dan kepada tim kloter 1 Ilyas, Ade Dwi, Marya yang telah memberikan ilmunya selama di laboratorium.

9. Kakak-kakak mentor di laboratorium PUR *fuel cell* terima kasih telah men *support* penulis hingga penulis menyelesaikan penelitian dan terima kasih telah banyak memberikan pelajaran berharga yang mungkin penulis baru dapatkan selama penelitian berlangsung dan semoga kedepannya Kak Dwi, Kak Reka dan Kak Icha sukses selalu dan tetap menjadi orang yang dapat memberikan pelajaran baru terhadap orang lain.
10. Choirunnisa Annabila terima kasih telah membantu dan kebersamai penulis selama bangku perkuliahan serta memberikan *support* kepada penulis setiap saat dan semoga kedepannya sukses selalu dan menjadi kebanggaan orang tua dan tentunya dapat membanggakan kedua orang tua, Terima Kasih.
11. Serta terima kasih kepada setiap orang yang telah membantu penulis selama masa perkuliahan yang mungkin tidak dapat disebutkan satu per satu.

Penulis menyadari masih banyak terdapat kekurangan dalam karya tulis ini serta jauh dari kata sempurna, sehingga penulis mengharapkan kritik dan saran dari pembaca. Penulis ucapkan terima kasih, semoga karya tulis ini dapat memberikan manfaat dan menjadi referensi kepada orang-orang yang membutuhkan.

Palembang, 16 September 2022

Penulis

SUMMARY

EFFECT OF GAS FLOW RATE AND HUMIDIFIER TEMPERATURE ON THE PERFORMANCE OF MEMBRANE ELECTRODE ASSEMBLY (MEA) WITH Ti-Co/C CATALYST ON SINGLE STACK PEMFC

Muhammad Prima Utama, supervised by Dr. Dedi Rohendi M.T and Dr. Eliza, M. Si

Chemistry, Faculty of Mathematics and Natural Sciences, Sriwijaya University

xv + 47 Pages, 10 Pictures, 7 Attachments

The research has been carried out on the effect of gas flow rate and humidifier temperature on the performance of the *Membrane Electrode Assembly* (MEA) using Pt/C electrodes at the anode and Ti-Co/C electrodes at the cathode in PEMFC. MEA consists of electrodes and an electrolyte membrane in the form of a Nafion 212 membrane. The electrodes are made by spraying a catalyst layer on the surface of the Gas Diffusion Layer (GDL), then the two electrodes are attached to the side of the Nafion 212 membrane. The MEA was characterized using the *Cyclic Voltammetry* (CV) method to determine the number of electrochemically active surfaces on the MEA as seen from the value of the *Electrochemical Surface Area* (ECSA) and using the *Electrochemical Impedance Spectroscopy* (EIS) method to determine the value of the electrical conductivity on the MEA. Based on the characterization results, the ECSA value was 8.43 cm²/g and the electrical conductivity value was 3.76 x 10⁻⁸ S/cm. The effect of gas flow rate has an optimum performance on MEA at a flow rate of 100 mL/minute and shows an optimum power density value of 0,364 mW/cm² and an optimum current density of 2.4 mA/cm². The effect of *humidifier* temperature on MEA performance was obtained at the optimum temperature at room temperature and showed the optimum power density value of 0.375 mW/cm² and the optimum current density of 2.8 mA/cm².

Keywords : Ti-Co/C, *Membrane Electrode Assembly* (MEA), *Proton Exchange Membrane Fuel Cell* (PEMFC)

Citations : 47 (2007-2022)

RINGKASAN

PENGARUH LAJU ALIR GAS DAN SUHU *HUMIDIFIER* TERHADAP KINERJA *MEMBRANE ELECTRODE ASSEMBLY* (MEA) DENGAN KATALIS Ti-Co/C PADA PEMFC STEK TUNGGAL

Muhammad Prima Utama, dibimbing oleh Dr. Dedi Rohendi M.T dan Dr. Eliza, M. Si

Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Sriwijaya

xv + 47 halaman, 10 Gambar, 7 Lampiran

Telah dilakukan penelitian mengenai pengaruh laju alir gas dan suhu *humidifier* terhadap kinerja *Membrane Electrode Assembly* (MEA) menggunakan elektroda Pt/C pada anoda dan elektroda Ti-Co/C pada katoda dalam PEMFC. MEA terdiri dari elektroda dan membran elektrolit berupa membran nafion 212. Elektroda dibuat dengan menyemprotkan lapisan katalis di atas permukaan *Gas Diffusion Layer* (GDL), lalu kedua elektroda di tempelkan ke sisi membran nafion 212. MEA dikarakterisasi menggunakan metode *Cyclic Voltammetry* (CV) untuk mengetahui banyaknya permukaan aktif elektrokimia pada MEA yang dilihat dari nilai *Electrochemical Surface Area* (ECSA) dan menggunakan metode *Electrochemical Impedance Spectroscopy* (EIS) untuk mengetahui nilai konduktivitas elektrik pada MEA. Berdasarkan hasil karakterisasi, didapatkan nilai ECSA 8,43 cm²/g dan nilai konduktivitas elektriknya 3,76 x 10⁻⁸ S/cm. Pengaruh laju alir gas memiliki kinerja optimum terhadap MEA pada laju alir 100mL/menit dan menunjukkan nilai densitas daya optimum sebesar 0,364 mW/cm² dan densitas arus optimum sebesar 2,4 mA/cm². Pengaruh suhu *humidifier* terhadap kinerja MEA didapatkan suhu optimum pada suhu ruang dan menunjukkan nilai densitas daya optimum sebesar 0,375 mW/cm² dan densitas arus optimum sebesar 2,8 mA/cm².

Kata Kunci : Ti-Co/C, *Membrane Electrode Assembly* (MEA), *Proton Exchange Membrane Fuel Cell* (PEMFC)

Sitasi : 47 (2007-2022)

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN	ii
HALAMAN PERSETUJUAN	iii
PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH	iv
HALAMAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS	v
HALAMAN PERSEMBAHAN	vi
KATA PENGANTAR.....	vii
SUMMARY	ix
RINGKASAN.....	x
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xv
BAB I	16
PENDAHULUAN	16
1.1 Latar belakang	16
1.2 Rumusan Masalah	19
1.3 Tujuan Penelitian	19
1.4 Manfaat Penelitian	19
BAB II	Error! Bookmark not defined.
TINJAUAN PUSTAKA	Error! Bookmark not defined.
2.1 <i>Fuel Cell</i>	Error! Bookmark not defined.
2.1.1 Definisi Fuel Cell	Error! Bookmark not defined.
2.1.2 Hidrogen	Error! Bookmark not defined.
2.2 <i>Proton Exchange Membrane Fuel Cell (PEMFC)</i>	Error! Bookmark not defined.
not defined.	
2.3 <i>Membrane Electrode Assembly (MEA)</i>	Error! Bookmark not defined.
defined.	
2.3.1 <i>Catalyst Layer</i>	Error! Bookmark not defined.
2.3.2 Pelat Bipolar	Error! Bookmark not defined.
2.4 Katalis	Error! Bookmark not defined.

2.4.1 Titanium.....	Error! Bookmark not defined.
2.5 Pengaruh Kondisi Operasi Terhadap Kinerja PEMFC.....	Error! Bookmark not defined.
2.5.1 Laju Alir Hidrogen	Error! Bookmark not defined.
2.5.2 Suhu <i>Humidifier</i>	Error! Bookmark not defined.
2.6 Karakterisasi MEA	Error! Bookmark not defined.
2.6.1 <i>Cyclic Voltammetry (CV)</i>	Error! Bookmark not defined.
2.6.2 <i>Electrochemical Impedance Spectroscopy (EIS)</i>	Error! Bookmark not defined.
BAB III.....	Error! Bookmark not defined.
METODOLOGI PENELITIAN.....	Error! Bookmark not defined.
3.1 Waktu dan Tempat	Error! Bookmark not defined.
3.2 Alat dan Bahan.....	Error! Bookmark not defined.
3.2.1 Alat	Error! Bookmark not defined.
3.2.2 Bahan	Error! Bookmark not defined.
3.3 Prosedur Penelitian.....	Error! Bookmark not defined.
3.3.1 Pembuatan Elektroda.....	Error! Bookmark not defined.
3.3.1.1 Pembuatan Elektroda (katoda) dengan Katalis Ti-Co/C.....	Error! Bookmark not defined.
3.3.1.2 Pembuatan Elektroda (anoda) dengan Katalis Pt/C	Error! Bookmark not defined.
3.3.2 Pembuatan <i>Membrane Electrode Assembly (MEA)</i>	Error! Bookmark not defined.
3.3.3 Karakterisasi MEA	Error! Bookmark not defined.
3.3.3.1 Pengujian Sifat Elektrokimia Katalis dengan Metode <i>Cyclic Voltammetry (CV)</i>	Error! Bookmark not defined.
3.3.3.2 Pengujian Konduktivitas Elektrik Menggunakan Metode <i>Electrochemical Impedance Spectroscopy</i> (EIS)	Error! Bookmark not defined.

3.3.4 Pengujian Kinerja MEA pada PEMFC dengan Berbagai Kondisi Reaksi	Error! Bookmark not defined.
3.3.4.1 Suhu <i>Humidifier</i>	Error! Bookmark not defined.
3.3.4.2 Laju Alir Hidrogen.....	Error! Bookmark not defined.
3.3.5 Analisis Karakterisasi MEA pada PEMFC	Error! Bookmark not defined.
3.3.5.1 Analisis <i>Cyclic Voltammetry</i> (CV).....	Error! Bookmark not defined.
3.3.5.2 Analisis EIS	Error! Bookmark not defined.
BAB IV	Error! Bookmark not defined.
HASIL DAN PEMBAHASAN.....	Error! Bookmark not defined.
4.1 Karakterisasi MEA dengan Metode <i>Cyclic Voltammetry</i> (CV)	Error! Bookmark not defined.
4.2 Karakterisasi MEA menggunakan Metode <i>Electrochemical Impedance Spectroscopy</i> (EIS)	Error! Bookmark not defined.
4.3 Pengaruh Suhu <i>Humidifier</i> terhadap kinerja MEA	Error! Bookmark not defined.
4.4 Pengaruh Laju Alir Gas Hidrogen terhadap kinerja MEA	Error! Bookmark not defined.
BAB V	Error! Bookmark not defined.
KESIMPULAN DAN SARAN.....	Error! Bookmark not defined.
5.1 Kesimpulan	Error! Bookmark not defined.
5.2 Saran	Error! Bookmark not defined.

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.	Komponen penyusun PEMFC	7
Gambar 2.	Skema penyiapan MEA dengan metode <i>spraying</i>	7
Gambar 3.	Susunan pelat bipolar	9
Gambar 4.	Kurva Voltammogram.....	11
Gambar 5.	Gambar Kurva Voltamogram dari MEA.....	20
Gambar 6.	Kurva <i>Nyquist</i> MEA Ti-Co/C dan Pt/C.....	20
Gambar 7.	Grafik tegangan terhadap densitas arus dari MEA pada variasi suhu <i>humidifier</i>	22
Gambar 8.	Grafik hubungan antara densitas arus dan densitas daya pada MEA dengan variasi suhu <i>humidifier</i>	23
Gambar 9.	Grafik tegangan terhadap densitas arus dari MEA pada variasi laju alir gas hidrogen	24
Gambar 10.	Grafik hubungan antara densitas arus dan densitas daya pada MEA dengan variasi laju alir gas hidrogen	25

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1.	Skema Kerja.....	29
Lampiran 2.	Perhitungan Komponen Elektroda.....	31
Lampiran 3.	Perhitungan Nilai ECSA <i>Membrane Electrode Assembly</i>	33
Lampiran 4.	Karakterisasi EIS dan Perhitungan Nilai Konduktivitas Listrik ...	36
Lampiran 5.	Tabel data hasil pengolahan variasi suhu <i>humidifier</i>	42
Lampiran 6.	Tabel data hasil pengolahan variasi laju alir gas hidrogen	43
Lampiran 7.	Gambar alat penelitian.....	44

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar belakang

Fuel Cell merupakan perangkat konversi energi yang terus-menerus mengubah energi kimia dalam bahan bakar menjadi energi listrik, selama kedua bahan bakar dan juga oksidannya tersedia. Penggunaan perangkat *fuel cell* menunjukkan karakteristik yang lebih menguntungkan dari metode pembakaran konvensional yang saat ini banyak digunakan di bidang tertentu, seperti elektronik, daya perumahan, dan pembangkit listrik dan menunjukkan efisiensi konversi energi listrik 60% atau lebih dengan emisi yang lebih rendah. Pada dasarnya, *fuel cell* akan berkontribusi pada energi masa depan dengan menyediakan listrik (Behling, 2013).

Salah satu jenis *fuel cell* yang banyak digunakan adalah *Proton Exchange Membrane Fuel Cell* (PEMFC). PEMFC *single cell* tersusun atas komponen berupa plat bipolar, GDL, lapisan katalis, membran, sealing gasket dan lain lain. (J. Chen et al., 2021). Proton dalam hidrogen dilepaskan pada elektroda anoda dan dipindahkan ke elektroda katoda melalui membran polimer. Ke arah yang sama dengan proton, elektron dikirim dari anoda ke katoda dengan cara menyebrangi sirkuit bagian luar dan reaksi reduksi berlangsung pada katoda oleh elektron, oksigen dan juga proton, secara keseluruhan energi dari hidrogen secara langsung ditransfer menjadi energi listrik, dan produk sampingnya adalah air dan panas (Hua et al., 2022).

Komponen penting pada PEMFC yang diintegrasikan untuk menghasilkan daya yang dibutuhkan adalah *Membrane Electrode Assembly* (MEA). MEA dibuat dengan menggabungkan elektroda yang terdiri dari beberapa bagian yang mencakup kertas karbon, lapisan katalis dan membran polimer. MEA berfungsi sebagai tempat terjadinya reaksi kimia dan menunjukkan tingkat kinerja sistem PEMFC terintegrasi (Lim et al., 2021)

MEA terdiri dari dua buah elektroda yang mengapit membran yang berfungsi menghantarkan proton dari anoda ke katoda. Pada MEA terdapat tiga proses yang

dilakukan, transpor proton melalui membran dari elektroda, menghantarkan elektron pada *current collector* ke elektroda dan dari elektroda ke *current collector*, dan juga pengangkutan produk yang dihasilkan dari *catalyst layer* serta saluran gas. (Wicaksono et al., 2021 dan Rohendi et al., 2013). Membran sebagai media terjadinya reaksi redoks untuk menghasilkan listrik dimana pada membran terjadinya proses pemecahan proton dan elektron dan proton menyebrang melalui membran, sedangkan elektron melewati *current collector* dan menghasilkan arus listrik (Riniati and Chamidy, 2013).

Platina (Pt) adalah salah satu katalis yang sering digunakan dalam PEMFC karena stabilitasnya selama reaksi hidrogen dan oksigen berlangsung di dalam anoda dan katoda masing-masing (J. Chen et al., 2021). Selain Pt, ada banyak logam lain yang telah digunakan untuk dapat dijadikan katalis dalam penggunaan PEMFC. Dibandingkan dengan logam lain, Titanium (Ti) memiliki keunggulan diantaranya ketahanan korosi yang lebih baik, tahan pada suhu yang tinggi, bersifat inert, titanium memiliki massa yang ringan (Yan et al., 2021). Selain itu, titanium jika digunakan untuk bahan katalis mempunyai stabilitas yang tinggi dalam media asam, kuat berinteraksi dengan nanopartikel logam sehingga titanium dapat digunakan sebagai logam paduan lainnya seperti aluminium, nikel, vanadium, besi dan juga stabil digunakan pada PEMFC. (Gatto et al., 2021).

Perpaduan antara katalis platina dan kobalt juga pernah diteliti pada PEMFC dan menunjukkan adanya aktivitas katalitik *reversible*, dimana penggunaan logam Co sebagai katalis *support* atau sebagai *promotor* dapat dilakukan (Dedi Rohendi et al., 2018). Perpaduan katalis antara kobalt dan titanium juga menghasilkan kinerja yang baik. Penggunaan paduan unsur logam seperti kobalt dapat digunakan untuk mengurangi ketidakstabilan termodinamika pada titanium, unsur logam ini biasanya digunakan untuk meningkatkan ketahanan korosi pada titanium (Adesina et al., 2020).

Pengaruh laju alir gas hidrogen dilakukan untuk mengetahui drop arus pada PEMFC. Dengan adanya drop arus tersebut menandakan bahwa tidak terjadi reaksi lagi pada PEMFC karena keadaan stoikiometri nya yang tidak seimbang dan juga suplai hidrogen dan oksigen nya berkurang yang menyebabkan potensial sel akan turun atau

drop sehingga arus tidak akan meningkat lagi. Hal ini muncul akibat ketidakseimbangan stoikiometri dan hidrogen dengan oksigen sehingga pada titik tertentu PEMFC akan kehabisan gas reaktan yang mengakibatkan potensial sel turun drastis menuju nol dan arus tidak dapat meningkat lagi. Lamanya waktu pengujian juga mempengaruhi kondisi kestabilan tegangan yang dihasilkan dimana kestabilan tegangan dan daya yang dihasilkan berbanding lurus saat bertambahnya laju alir gas dan lamanya waktu pengujian, sehingga perlu ditentukan pada variasi laju alir berapa membran akan bekerja lebih optimum. Menggunakan variasi laju alir gas hidrogen ini untuk membuat membran supaya tersuplai bahan bakar hidrogen dengan tepat dimana suplai hidrogen tersebut akan mengalami proses *splitting* sehingga hidrogen tersebut memecah menjadi proton dan elektron dimana elektron tersebut akan menghasilkan listrik, jika semakin banyak dan tepat suplai hidrogen yang akan mengalami *splitting* maka akan semakin tinggi juga nilai konduktivitas listrik yang dimuat. Suplai hidrogen itu juga harus diperhatikan supaya tidak berlebihan yang akan menurunkan kinerja optimum pada membran karena suplai hidrogen tersebut melewati membran tanpa proses pemecahan menjadi proton dan elektron dan menimbulkan efek panas pada stek PEMFC (Irmawati and Andachiar Oemry, 2012).

Variasi suhu *humidifier* dilakukan untuk mengetahui pada suhu berapa membran akan terhidrasi dengan tepat. Suhu *humidifier* di dalam membran jika optimum akan sangat mempengaruhi kinerja pada PEMFC, pelembaban bertujuan untuk membuat membran menjadi lembab dan tidak terhidrasi secara berlebihan yang dapat menyebabkan pembengkakan pada membran. Pengaruh dari suhu pada saat dilembabkan juga untuk mengetahui pada suhu berapa membran memiliki tingkat kelembaban yang tepat sehingga membrannya terhidrasi (Odgaard, 2015). Oleh karena itu, dilakukan penelitian untuk mengetahui divariasi suhu *humidifier* berapa membran memiliki kinerja yang optimum dan membran terhidrasi dengan tepat supaya tidak kering saat digunakan pada stek PEMFC.

Salah satu metode yang digunakan dalam pembuatan elektroda yaitu metode *spraying*, keunggulannya itu dapat mendistribusikan katalis ke seluruh permukaan

elektroda tanpa merusak permukaan itu sendiri, metode *spraying* menggunakan alat bernama *spray gun* yang lebih direkomendasikan untuk menyemprot lapisan elektroda yang besar maupun kecil karena menggunakan tinta sehingga lebih mudah dilakukan dan relatif lebih murah (Arenas et al., 2020). Penelitian ini bertujuan untuk melihat perbandingan dengan penelitian Nurmalina Adhiyanti (Tahun 2020) yang menunjukkan nilai luas permukaan aktif elektrokimia yang dihasilkan berada di rasio 75:25 dari elektroda Ti-Co/C dengan loading katalis $3,5 \text{ mg/cm}^2$, sehingga diambil rasio yang sama dengan menggunakan loading katalis $0,5 \text{ mg/cm}^2$ untuk mengetahui bahwa loading katalis lebih kecil akan mempengaruhi banyaknya luas permukaan aktif elektrokimia pada elektroda Ti-Co/C dan dilakukan variasi laju alir gas hidrogen dan suhu *humidifier* pada elektroda Ti-Co/C.

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana sifat elektrokimia dan konduktivitas listrik MEA dengan katalis Ti-Co/C dengan rasio Ti dan Co 75:25 menggunakan loading katalis $0,5 \text{ mg/cm}^2$?
2. Bagaimana pengaruh laju alir gas hidrogen dan suhu *humidifier* terhadap kinerja MEA menggunakan katalis Ti-Co/C pada PEMFC stek tunggal?

1.3 Tujuan Penelitian

1. Menentukan nilai ECSA dan konduktivitas listrik MEA dengan katalis Ti-Co/C dengan rasio Ti dan Co 75:25
2. Menentukan pengaruh laju alir gas hidrogen dan suhu *humidifier* terhadap kinerja MEA menggunakan katalis Ti-Co/C di katoda pada stek tunggal PEMFC.

1.4 Manfaat Penelitian

Dengan dilakukannya penelitian ini, diharapkan dapat memberikan informasi mengenai karakterisasi dan pengaruh laju alir gas hidrogen dan suhu *humidifier* terhadap kinerja MEA yang menggunakan katalis Ti-Co/C pada loading katalis yang lebih kecil apakah memiliki luas permukaan aktif elektrokimia dan nilai konduktivitas listrik yang besar.

DAFTAR PUSTAKA

- Adesina, O. S., Obadele, B. A., Farotade, G. A., Isadare, D. A., Adediran, A. A., & Ikubanni, P. P. (2020). Influence of phase composition and microstructure on corrosion behavior of laser based Ti–Co–Ni ternary coatings on Ti–6Al–4V alloy. *Journal of Alloys and Compounds*, 827, 154245.
- Aghahosseini, S., Dincer, I., & Naterer, G. F. (2013). Linear sweep voltammetry measurements and factorial design model of hydrogen production by HCl/CuCl electrolysis. *International Journal of Hydrogen Energy*, 38(29), 12704–12717.
- Arenas, L. F., Hadjigeorgiou, G., Jones, S., Van Dijk, N., Hodgson, D., Cruden, A., & Ponce de León, C. (2020). Effect of airbrush type on sprayed platinum and platinum-cobalt catalyst inks: Benchmarking as PEMFC and performance in an electrochemical hydrogen pump. *International Journal of Hydrogen Energy*, 45(51), 27392–27403.
- Arora, D., Bonnet, C., Mukherjee, M., Raël, S., & Lopicque, F. (2019). Direct hybridization of PEMFC and supercapacitors: Effect of excess hydrogen on a single cell fuel cell durability and its feasibility on fuel cell stack. *Electrochimica Acta*, 310, 213–220.
- Arzaee, N. A., Mohamad Noh, M. F., Halim, A. A., Faizal Abdul Rahim, M. A., Haziqah Mohd Ita, N. S., Mohamed, N. A., Farhana Mohd Nasir, S. N., Ismail, A. F., & Mat Teridi, M. A. (2021). Cyclic voltammetry - A promising approach towards improving photoelectrochemical activity of hematite. *Journal of Alloys and Compounds*, 852.
- Behling, N. H. (2013). Fuel Cells and the Challenges Ahead. *Fuel Cells*, 7–36.
- Chang, Y., Qin, Y., Yin, Y., Zhang, J., & Li, X. (2018). Humidification strategy for polymer electrolyte membrane fuel cells – A review. *Applied Energy*, 230(August), 643–662.
- Chen, J., Ou, Z., Chen, H., Song, S., Wang, K., & Wang, Y. (2021). Recent developments of nanocarbon based supports for PEMFCs electrocatalysts. *Chinese Journal of Catalysis*, 42(8), 1297–1326.
- Chen, M., Zhao, C., Sun, F., Fan, J., Li, H., & Wang, H. (2020). Research progress of catalyst layer and interlayer interface structures in membrane electrode assembly (MEA) for proton exchange membrane fuel cell (PEMFC) system. *ETransportation*, 5, 100075.
- Chowdhury, M. Z., & Akansu, Y. E. (2017). Novel convergent-divergent serpentine flow fields effect on PEM fuel cell performance. *International Journal of Hydrogen Energy*, 42(40), 25686–25694.

- Ender, M., Weber, A., & Ellen, I.-T. (2012). Analysis of Three-Electrode Setups for AC-Impedance Measurements on Lithium-Ion Cells by FEM simulations. *Journal of The Electrochemical Society*, 159(2), A128–A136.
- Fan, L., Tu, Z., & Chan, S. H. (2021). Recent development of hydrogen and fuel cell technologies: A review. *Energy Reports*, 7, 8421–8446.
- Gatto, I., Saccà, A., Pedicini, R., Passalacqua, E., & Carbone, A. (2021). Evaluation of titanium oxide introduction in the electrode structure for portable PEMFC applications. *International Journal of Hydrogen Energy*, 46(54), 27687–27699.
- Gharbi, O., Tran, M. T. T., Tribollet, B., Turmine, M., & Vivier, V. (2020). Revisiting cyclic voltammetry and electrochemical impedance spectroscopy analysis for capacitance measurements. *Electrochimica Acta*, 343, 136109.
- Gonzalez-Flores, D., Fernandez, G., & Urcuyo, R. (2021). Spectroelectrochemical Experiment for Studying Water Oxidation with a Nickel Oxide Catalyst. *Journal of Chemical Education*, 98(2), 607–613.
- Herrera Hernández, H., M. Ruiz Reynoso, A., C. Trinidad González, J., O. González Morán, C., G. Miranda Hernández, J., Mandujano Ruiz, A., Morales Hernández, J., & Orozco Cruz, R. (2020). Electrochemical Impedance Spectroscopy (EIS): A Review Study of Basic Aspects of the Corrosion Mechanism Applied to Steels. *Electrochemical Impedance Spectroscopy*, 1–35.
- Hua, Z., Zheng, Z., Pahon, E., Péra, M. C., & Gao, F. (2022). A review on lifetime prediction of proton exchange membrane fuel cells system. *Journal of Power Sources*, 529(February).
- Irmawati, Y., & Andachiar Oemry, I. (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*, April, 85–90.
- Leni, D., Gunawarman, G., Affi, J., & Yetri, Y. (2019). Laju Oksidasi Titanium Murni (Cpti Grade Tipe 340) Berlapis Hydroxyapatite (Ha) Yang Disinter Dalam Tungku Perlakuan Panas. *METAL: Jurnal Sistem Mekanik Dan Termal*, 3(1), 46.
- Li, Y., & Janik, M. J. (2019). Recent progress on first-principles simulations of voltammograms. *Current Opinion in Electrochemistry*, 14, 124–132.
- Lim, B. H., Majlan, E. H., Tajuddin, A., Husaini, T., Wan Daud, W. R., Mohd Radzuan, N. A., & Haque, M. A. (2021). Comparison of catalyst-coated membranes and catalyst-coated substrate for PEMFC membrane electrode assembly: A review. *Chinese Journal of Chemical Engineering*, 33, 1–16.
- Luo, Z., Wang, X., Wen, H., & Pei, A. (2022). Hydrogen production from offshore

- wind power in South China. *International Journal of Hydrogen Energy*, xxxx.
- Majlan, E. H., Rohendi, D., Daud, W. R. W., Husaini, T., & Haque, M. A. (2018). Electrode for proton exchange membrane fuel cells: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 89(March), 117–134.
- Maulana, M. I., Syahbanu, I., & Harlia. (2017). Sintesis dan Karakterisasi Material Konduktif Film Komposit Polipirol (PPy)/Selulosa Bakteri. *Jkk*, 6(3), 11–18.
- Mulyani, R., Buchari, Noviandri, I., & Ciptati. (2012). Studi Voltametri Siklik Sodium Dedocyl Benzen Sulfonat dalam Berbagai Elektroda dan Elektrolit Pendukung. *Jurnal Teknologi Pengelolaan Limbah*, 15(1), 51–56.
- Odgaard, M. (2015). The Use of Per-Fluorinated Sulfonic Acid (PFSA) Membrane as Electrolyte in Fuel Cells. In *Advanced Fluoride-Based Materials for Energy Conversion*. Elsevier.
- P.S., J., & Sutrave, D. S. (2018). A Brief Study of Cyclic Voltammetry and Electrochemical Analysis. *International Journal of ChemTech Research*, 11(9), 77–88.
- Rachman, B. A., & Noerochim, L. (2021). Analisis Pengaruh Variasi Tekanan Hot Press Decal Transfer terhadap Morfologi Membrane Electrode Assembly dan Performa Elektrokimia PEM Fuel cell. 10(2).
- Rasaki, S. A., Liu, C., Lao, C., Zhang, H., & Chen, Z. (2021). The innovative contribution of additive manufacturing towards revolutionizing fuel cell fabrication for clean energy generation: A comprehensive review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 148(January), 111369.
- Rezaei Niya, S. M., & Hoorfar, M. (2013). Study of proton exchange membrane fuel cells using electrochemical impedance spectroscopy technique - A review. *Journal of Power Sources*, 240, 281–293.
- Ridlo, M. R. (2020). Perkembangan Riset MEA Untuk PEMFC. *Seminar Nasional SNPBS Ke-V*, 531–536.
- Riniati, & Chamidy, H. N. (2013). Pembuatan Membran Kitosan Sulfonat Untuk Aplikasi Direct Ethanol Fuel Cell 2013. *Industrial Research Workshop and National Seminar*, 1(2), 286–289.
- Riniati, Hulupi, M., Anggraini, R., & Dewi, S. S. (2010). Aplikasi Metoda Loading Katalis Secara Painting Dan Screen Printing Pada. 022, 1–7.
- Rohendi, D., Majlan, E. H., Mohamad, A. B., Daud, W. R. W., Kadhum, A. A. H., & Shyuan, L. K. (2015). Effects of temperature and backpressure on the performance degradation of MEA in PEMFC. *International Journal of Hydrogen Energy*, 40(34), 10960–10968.

- Rohendi, Dedi, Majlan, E. H., Mohamad, A. B., Wan Daud, W. R., Hassan Kadhum, A. A., & Shyuan, L. K. (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, Dedi, Rachmat, A., & Syarif, N. (2018). Fabrication and Characterization of Pt-Co/C Catalyst for Fuel Cell Electrode. *Journal of Physics: Conference Series*, 1095(1).
- Sharaf, S. M. (2020). Smart conductive textile. In *Advances in Functional and Protective Textiles*. LTD.
- Shirsath, A. V., Raël, S., Bonnet, C., Schiffer, L., Bessler, W., & Lopicque, F. (2020). Electrochemical pressure impedance spectroscopy for investigation of mass transfer in polymer electrolyte membrane fuel cells. *Current Opinion in Electrochemistry*, 20, 82–87.
- Su, H. N., Zeng, Q., Liao, S. J., & Wu, Y. N. (2010). High performance membrane electrode assembly with ultra-low platinum loading prepared by a novel multi catalyst layer technique. *International Journal of Hydrogen Energy*, 35(19), 10430–10436.
- Sun, W., Zhang, W., Su, H., Leung, P., Xing, L., Xu, L., Yang, C., & Xu, Q. (2019). Improving cell performance and alleviating performance degradation by constructing a novel structure of membrane electrode assembly (MEA) of DMFCs. *International Journal of Hydrogen Energy*, 44(60), 32231–32239.
- Sürer, M. G., & Arat, H. T. (2022). Advancements and current technologies on hydrogen fuel cell applications for marine vehicles. *International Journal of Hydrogen Energy*, xxx.
- Wang, L., Wan, X., Liu, S., Xu, L., & Shui, J. (2019). Fe-N-C catalysts for PEMFC: Progress towards the commercial application under DOE reference. *Journal of Energy Chemistry*, 39, 77–87.
- Weng, F. B., Su, A., & Hsu, C. Y. (2007). The study of the effect of gas stoichiometric flow rate on the channel flooding and performance in a transparent fuel cell. *International Journal of Hydrogen Energy*, 32(6), 666–676.
- Wicaksono, M. A., Noerochim, L., & Purniawan, A. (2021). Analisis Pengaruh Variasi Rasio Berat Nafion / Karbon pada Lapisan Katalis Membrane Electrode Assembly terhadap Performa. *Jurnal Teknik ITS*, 10(2), 98–103.
- Wu, K., Wang, Z., Zhang, G., Fan, L., Zhu, M., Xie, X., Du, Q., Zu, B., & Jiao, K. (2022). Correlating electrochemical active surface area with humidity and its application in proton exchange membrane fuel cell modeling. *Energy Conversion and Management*, 251(November 2021), 114982.

- Yan, W., Zhang, Y., Chen, L., Luo, J., Pang, P., Zhang, X., Liao, B., & Ying, M. (2021). Corrosion behavior and interfacial conductivity of amorphous hydrogenated carbon and titanium carbide composite (a-C: H/TiC) films prepared on titanium bipolar plates in PEMFCs. *Diamond and Related Materials*, 120(June), 108628.
- Zhu, D., Yang, Y., Pei, F., & Ma, T. (2022). High-precision identification of polarization processes of distribution of relaxation times by polarization curve model for proton exchange membrane fuel cell. *Energy Conversion and Management*, 268(July), 115994.