

**PENGARUH SUHU *STACK* DAN TEKANAN BALIK TERHADAP  
KINERJA *PROTON EXCHANGE MEMBRANE FUEL CELL STACK*  
TUNGGAL MENGGUNAKAN KATALIS Pd-Co/C DAN Pd-Ni/C**

**SKRIPSI**

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



**Oleh:**

**Vadia Rahma Asmahendra**

**08031381722083**

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

**2021**

**HALAMAN PENGESAHAN**

**PENGARUH SUHU STACK DAN TEKANAN BALIK TERHADAP  
KINERJA *PROTON EXCHANGE MEMBRANE FUEL CELL STACK*  
TUNGGAL MENGGUNAKAN KATALIS Pd-Co/C DAN Pd-Ni/C**

**SKRIPSI**

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

Oleh :

**VADIA RAHMA ASMAHENDRA**

**08031381722083**

Indralaya, 26 November 2021

**Pembimbing I**



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

**Pembimbing II**



**Dra. Fatma, MS**  
**NIP. 196207131991022001**

**Mengetahui,**

**Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam**



**Hermansyah, S.Si., M.Si., Ph.D**  
**NIP. 197111191997021001**

## HALAMAN PERSETUJUAN

Karya tulis ilmiah berupa skripsi ini dengan judul “Pengaruh Suhu *Stack* Dan Tekanan Balik Terhadap Kinerja *Proton Exchange Membrane Fuel Cell Stack* Tunggal Menggunakan Katalis Pd-Co/C Dan Pd-Ni/C” telah dipertahankan dihadapan Tim Penguji Sidang Sarjana Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Sriwijaya pada Tanggal 25 November 2021 dan telah diperbaiki, diperiksa serta disetujui sesuai masukan yang diberikan.

Indralaya, 26 November 2021

### Ketua :

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

(  )

### Anggota :

2. **Dra. Fatma, MS**  
NIP. 196207131991022001
3. **Dr. Nirwan Syarif, M.Si**  
NIP. 197010011999031003
4. **Dr.rer.nat. Risfidian Mohadi, M.Si**  
NIP. 197211092000032001

(  )

(  )

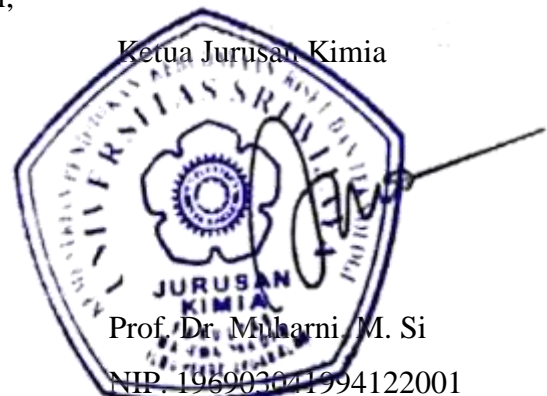
(  )

Mengetahui,

Dekan FMIPA



Ketua Jurusan Kimia



## PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama Mahasiswa : Vadia Rahma Asmahendra

NIM : 08031381722083

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, 26 November 2021

Penulis



Vadia Rahma Asmahendra

NIM. 08031381722083

## HALAMAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

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

Nama Mahasiswa : Vadia Rahma Asmahendra  
NIM : 08031381722083  
Fakultas/Jurusan : MIPA/Kimia  
Jenis Karya : Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, saya menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Sriwijaya “Pengaruh Suhu *Stack* Dan Tekanan Balik Terhadap Kinerja *Proton Exchange Membrane Fuel Cell Stack* Tunggal Menggunakan Katalis Pd-Co/C Dan Pd-Ni/C”. 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, 26 November 2021

Yang menyatakan



Vadia Rahma Asmahendra

NIM. 08031381722083

## SUMMARY

### **EFFECT OF STACK TEMPERATURE AND BACK PRESSURE ON THE PERFORMANCE OF PROTON EXCHANGE MEMBRANE FUEL CELL SINGLE STACK USING Pd-Co/C AND Pd-Ni/C CATALYSTS**

Vadia Rahma Asmahendra: Supervised by Dr. Dedi Rohendi, M. T

and Dra. Fatma, MS

Chemistry, Faculty of Mathematics and Natural Sciences, Sriwijaya University  
x + 50 pages, 2 tables, 14 pictures, 6 appendices

The tests on the effect of stack temperature and back pressure on the performance of Proton Exchange Membrane Fuel Cell Single Stack using Pd-Co/C and Pd-Ni/C catalysts has been done. This study uses two MEA. The first MEA uses a Pd-Co/C catalyst (with a mass ratio of Pd:Co = 75:25) on the cathode side and a Pt/C catalyst on the anode side (MEA Co). The second MEA uses a Pd-Ni/C catalyst (with a mass ratio of Pd:Ni = 75:25) on the cathode side and a Pt/C catalyst on the anode side (MEA Ni). The two MEAs were characterized using the Cyclic Voltammetry (CV) method to calculate the value of Electrochemical Surface Area (ECSA) and Electrochemical Impedance Spectroscopy (EIS) to calculate the conductivity value. The MEA performance test was carried out based on the I-V and I-P performance curves with the influence of stack temperature and back pressure. The characterization and performance test of MEA was carried out in one cell on the PEMFC stack.

The results of CV measurements obtained ECSA values for MEA Co of 35.43 cm<sup>2</sup>/g and MEA Ni of 10.37 cm<sup>2</sup>/g. The results of the EIS measurements obtained conductivity values for MEA Co 0.769 x 10<sup>-3</sup> S/cm and MEA Ni 0.25 x 10<sup>-3</sup> S/cm. MEA performance test with the influence of stack temperature obtained the best operating temperature for MEA Co at a temperature of 40°C with a maximum power density of 3.43 mW/cm<sup>2</sup> and a current density of 10 mA/cm<sup>2</sup> and MEA Ni at room temperature and a maximum power density of 3.04 mW/cm<sup>2</sup> and a current density of 11.2 mA/cm<sup>2</sup>. MEA performance test with the effect of back pressure obtained the best operational back pressure for MEA Co at 0,15 psi with a maximum power density of 2.13 mW/cm<sup>2</sup> and a current density of 6.4 mA/cm<sup>2</sup>. Based on variations in stack temperature and back pressure, the performance of PEMFC using MEA Co is better than the performance of MEA Ni.

Keywords : PEMFC, Single Stack, Pd-Co/C, Pd-Ni/C, Stack Temperature, Back Pressure, Cyclic Voltammetry, Electrochemical Impedance Spectroscopy

Citation : 39 (2007-2021)

**RINGKASAN**

**PENGARUH SUHU *STACK* DAN TEKANAN BALIK TERHADAP  
KINERJA *PROTON EXCHANGE MEMBRANE FUEL CELL STACK*  
TUNGGAL MENGGUNAKAN KATALIS Pd-Co/C DAN Pd-Ni/C**

Vadia Rahma Asmahendra: Dibimbing oleh Dr. Dedi Rohendi, M.T  
dan Dra. Fatma, MS

Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Sriwijaya  
xii + 48 halaman, 2 tabel, 14 gambar, 6 lampiran

Pengujian pengaruh suhu *stack* dan tekanan balik terhadap kinerja *Proton Exchange Membrane Fuel Cell Stack* Tunggal menggunakan katalis Pd-Co/C dan Pd-Ni/C telah dilakukan. Penelitian ini menggunakan dua buah MEA. MEA pertama menggunakan katalis Pd-Co/C (dengan perbandingan massa Pd:Co = 75:25) pada sisi katoda dan katalis Pt/C pada sisi anoda (MEA Co). MEA kedua menggunakan katalis Pd-Ni/C (dengan perbandingan massa Pd:Ni = 75:25) pada sisi katoda dan katalis Pt/C pada sisi anoda (MEA Ni). Kedua MEA tersebut dikarakterisasi menggunakan metode *Cyclic Voltammetry* (CV) untuk menghitung nilai *Electrochemical Surface Area* (ECSA) dan *Electrochemical Impedance Spectroscopy* (EIS) untuk menghitung nilai konduktivitas. Selanjutnya dilakukan uji kinerja MEA berdasarkan kurva I-V dan I-P *performance* dengan pengaruh suhu *stack* dan tekanan balik. Karakterisasi dan uji kinerja MEA dilakukan satu sel pada *stack* PEMFC.

Hasil pengukuran CV diperoleh nilai ECSA untuk MEA Co sebesar 35.43 cm<sup>2</sup>/g dan MEA Ni sebesar 10,37 cm<sup>2</sup>/g. Hasil pengukuran EIS diperoleh nilai konduktivitas untuk MEA Co 0,769 x 10<sup>-3</sup> S/cm dan MEA Ni 0,25 x 10<sup>-3</sup> S/cm. Uji kinerja MEA dengan pengaruh suhu *stack* didapatkan suhu operasional terbaik untuk MEA Co pada suhu 40°C dengan densitas daya maksimum pada 3,43 mW/cm<sup>2</sup> dengan densitas arus 10 mA/cm<sup>2</sup> serta MEA Ni pada suhu ruang serta dengan densitas daya maksimum pada 3,04 mW/cm<sup>2</sup> dengan arus 11,2 mA/cm<sup>2</sup>. Uji kinerja MEA dengan pengaruh tekanan balik didapatkan tekanan balik operasional terbaik untuk MEA Co pada 0,15 psi dengan densitas daya maksimum pada 2,13 mW/cm<sup>2</sup> dengan densitas arus 6,4 mA/cm<sup>2</sup>. Berdasarkan variasi suhu *stack* dan tekanan balik, kinerja PEMFC menggunakan MEA Co lebih baik dibandingkan kinerja MEA Ni.

Kata kunci : PEMFC, *Stack* Tunggal, Pd-Co/C, Pd-Ni/C, Suhu *Stack*, Tekanan Balik, *Cyclic Voltammetry*, *Electrochemical Impedance Spectroscopy*  
Sitasi : 39 (2007-2021)

## HALAMAN PERSEMBAHAN

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

Skripsi ini sebagai tanda syukur kepada:

- ✓ Allah SWT
- ✓ Nabi Muhammad SAW

Dan kupersembahkan kepada:

- ✓ Mama, papa dan adik-adikku tercinta yang selalu mendoakan dan memberikan semangat serta dukungan
- ✓ Seluruh keluarga besarku
- ✓ Pembimbingku
- ✓ Sahabat-sahabatku
- ✓ Almamaterku (Universitas Sriwijaya)



## KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur hanyalah milik Allah SWT, kita memujinya, memohon ampunan dan meminta pertolongan kepada-Nya dan pada akhirnya penulis dapat menyelesaikan penulisan skripsi yang berjudul: “Pengaruh Suhu *Stack* Dan Tekanan Balik Terhadap Kinerja *Proton Exchange Membrane Fuel Cell Stack* Tunggal Menggunakan Katalis Pd-Co/C Dan Pd-Ni/C”. Skripsi ini dibuat sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana sains pada Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Jurusan Kimia Universitas Sriwijaya.

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

Penulis juga menyampaikan terima kasih kepada:

1. Bapak Hermansyah, Ph.D selaku Dekan FMIPA Universitas Sriwijaya.
2. Ibu Prof. Dr. Muharni, M. Si selaku Ketua Jurusan Kimia FMIPA Universitas Sriwijaya.
3. Bapak Dr. Addy Rachmat, M. Si selaku Sekretaris Jurusan Kimia FMIPA Universitas Sriwijaya.
4. Bapak Dr. Dedi Rohendi, M. T selaku Dosen Pembimbing Akademik dan sebagai Orang Tua Vadia selama masa kuliah.
5. Bapak Dr. Nirwan Syarif, M. Si dan Dr. rer.nat Risfidian Mohadi, M. Si selaku pembahas dan penguji sidang sarjana.
6. Seluruh Dosen FMIPA Kimia Universitas Sriwijaya yang telah memberikan ilmu, mendidik dan membimbing selama masa kuliah.
7. Papa dan Mama yang selalu ada mendoakan dan senantiasa memberikan dukungan serta semangat dan adik-adikku Fahri dan Nanda yang selalu menjadi penghibur dan penyemangat di kala sepi dan lelah.

8. Keluarga Besarku yang selalu mendoakan dan senantiasa memberikan dukungan dan semangat.
9. Kepada Mbak Novi dan Kak Cosiin selaku Admin Jurusan Kimia yang banyak membantu dalam semua proses administrasi selama perkuliahan.
10. Kak Dwi Hawa Yulianti, M. Si selaku mentor skripsi Vadia dan yang telah selalu sabar, selalu mengingatkan, selalu memberi semangat. Terima kasih banyak-banyak kak dwi, kak dwi sukses terus kaakk, semua yang direncanakan kak dwi lancar semua, aamiin, lovee kak dwiii, *don't forget* sama vadia kakkk.
11. Kak Icha, Kak Reka, Kak Dea, Kak Yuni, Kak Wulan dan Mbak Lina tak bisa lagi kak berkata-kata, kakak-kakak ter-the best semuaaa, bersyukur bisa ketemu kakak-kakak semua huuaa, love youu all kakkk, lancar semua yang sudah kakak-kakak rencanakan, *don't forget* sama vadia kakkk.
12. Team Iso Ora Iso Halsuiso, Saumi Kurnia Dewi, S. Si yang telah menjadi partner dari sempro-penelitian-bolak-balik Indralaya – Palembang-semhas-sidang-yudisium, terima kasih saumi udah selalu ingatin, selalu sabar, selalu support, dan baik dalam segi apapun. Terimakasih banyakk saumii, loveeee. Juliana Putri Nduru, S.Si yang selalu support, selalu ingatin, sabar, dan selalu baikkkk. Terimakasih banyakk juuuuuu, loveee. Jujuu dan saumi makasih banyak ya udah melengkapi vadia yang banyak kekurangannya ini, semangat terus, semoga semua yang kita inginkan berjalan lancar dan selalu dibantu Allah SWT. Yuk bisa yuk semangat!
13. Team Kpopers, untuk Ipo, Dian, Jujuu, Cikayu, Sisi, Ismi, walaupun kita beda-beda fandom dan memiliki bias yang berbeda tapi kita selalu saling menghargai satu sama lain, terimakasihhh atas segala kehebohannya, untuk menghilangkan kesuntukkan, membuat healing, menghilangkan stress, memberikan informasi, selalu membantu untuk berebutan PC digrup order line. Terimakasih banyak ya gaess. Sukses Terus!. Terimakasih juga untuk semua bias-bias aku (Hanbin, YoungK, Doyoung, Tael, Jay dan Jenoo) yang telah mewarnai hari-hariku.
14. Afifa Aprillia Tanjung, S. P temankuu dari SMP sampai sekarang, terimakasih udah mau bertahan temenan sama Vadia, terimakasih udah

selalu mendengarkan curhatan vadia yang tidak penting. Semangat afifa S2nya lancar terus segala urusan Afifa sampe jadi Dosen.

15. Puput, nyak, ipo, terimakasih banyakk udah mau berteman dengan vadia dari maba sampe sekarang, puputt pacarnya spiderman ngekos dari amanah sampe kosan digang buntu, puput selalu menerima kerandoman vadia, ipo dan nyak hahaha ,makasih banyak puputt. Ipoooo pacarnya dowoon, temenn maba yang pertama kali bilang “kpopper?” “iyaa samaa”, dan berteman ahaha seseru ituu. Nyak anime lovers, temen yang always heboh sama seperti ipo, jika vadia, ipo, nyak bertemu kasihan puput huaa. Makasih banyak ipo, puput, nyak atas semua kebaikannya, atas semua kesabarannya, sudah menerima vadia jadi temen kalian, menerima kerandoman vadia. Ipo, nyak, puput semogaa segala urusannya lancar dan sukses terus, semangat!.
16. Team PEMFC, Dilla Nursyafitri, S.Si dan Roma Bintang, S. Si terimakasih banyak udah bantuin vadia, udah kasih saran-saran dan udah selalu sabar. Sukses terus untuk Dilla dan Roma, semua yang diinginkan selalu lancarr.
17. Team PUR, Resti, Indra, Enggi, Nimyo, Ayu, Oik yang selalu saling support, memberi hiburan dan bantuan selama penelitian. Sukses teruss dan semangat teruss untuk kalian. Teruntuk Restii semangat teruss aku yakin kamu bisa menjalani ini semua. Terimakasih, semangat!.
18. Adek asuh terbaik M. Iqbal Maulana, terimakasih untuk iqball yang baik banget dan selalu support kakak. Iqbal semangat terus kuliahnya, selalu menebar kebermanfaatan, semangat organisasinya dan sukses terus brooo.
19. Bang Hilal dan Bang Dhoan, abang Jambi Kimia yang kerenn, terimakasih banyak bangg banyak memberikan nasihat dan masukan tentang perkuliahan. Bang hilal dan bang dhoan sudah baik banget sama vadia, terimakasih banyak bang. Bang dhoan sukses terus untuk usahanya. Bang hilal lancar bang S2 nya dan kerjanya. Lancar jaya bang.
20. Adek-adek 18 PUR (Ilyas, Ade, Irma, Delima, Cici, Balqish, Fatma, Anin, Marya, Sabrina, Devi, Igam, Sandi, Eko) terimakasih selalu memberikan support, semangat dan hiburan. Sukses terus untuk penelitiannya, semangat yuk bisa yuk. Kalian semua keren hehehe. Semangat TA-nya!.

21. Teman-teman seperjuangan Kimia angkatan 2017, BPH Kabinet Inovasi Karya dan Kabinet Hidrogen, Kakak-Kakak tingkat 2016, 2015 dan 2014, serta adik-adik tingkat Angkatan 2018 dan 2019 yang tidak bisa disebutkan satu persatu, yang selalu memberikan semangat, kenangan dan dukungan. Terimakasih banyak semuanya.
22. Menwa 601/PSA Universitas Sriwijaya, KSR PMI Unit Unsri, HIMAJA dan HIMAKI terimakasih banyak udah memberikan banyak kenangan, pertemanan, kegiatan-kegiatan yang tak terlupakan, dan skill-skill organisasi. Seniorku Mbak Salwa dan Mbak Erna terimakasih mbak udah memberikan kenyamanan, masukan dan saran untuk adek mbak yang banyak kekurangan ini. Mbak erna dan mbak salwa sukses terus mbak-mbakku apa yang diinginkan bisa tercapai dan lancar.
23. Sahabat Monyet, teman-teman jambiku yang setia menemani hari-hari ku, (Yana, Enyta, Ismi, Ranil, Welli, Atul, Aufa, Epan, Roy, Aldi, Bagus) gak tau lagi mau ngomong apa, bersyukur banget, kalian baik banget, walaupun kadang ngeselin, tapi terimakasih udah mau jadi temen vadia. Sukses terus buat kita semua. Semangat!
24. Yohanna, Yana, Mella, terimakasihhh udah mauuu dengar kerandoman vadia, udah menghibur dan memberikan support. Makasih banyak teman-temankuuu. Sukses terus, Semangat!.
25. Forkom (Apresi, Elsha, Alfian, Ipo, Utari, Sisi, Bang Bibul, Indah Z, Redo, Puttam, Yana, Putra, Rise) teman mabakuu satu kelas ganjil, makasih banyak-banyak sudah mengisi hari-hari ku, menaikkan moodku pada setiap pergantian semester. Terimakasih banyak teman-teman sukses terus untuk kita semua, semangat!.
26. Edelweis Squad (Nyak, Nafa, Dian, Chibby, Renny), terimakasih kalian buat aku nyaman dikosan edelweis, yang selalu tolongin aku sampe bikin aku terharu pas mau pindah kosan, kita selalu menghebohkan kosan, tanpa kita sepertinya kosan edelweis gang buntu sepi sekali. Sukses terus kita dan semangat!.
27. Zelyka Ananda. S, Si, teman love-hateku hehehe, nanda terimakasih banyak nanda sudah menjadi teman vadiaaaa, selalu memberi support,

sudah selalu temenin vadia bolak-balik Palembang pas dulu vadia masih belum tau jalan-jalan dipalembang, selama aku pindah ke gang lampung bersama nanda teruss, nanda yang menemaniku menjadi sekretaris departemen. Nanda terimakasih, sukses teruss nanda, semangat kerjanya nanda semangat mencari cuan!.

28. Teman-teman KKN, terimakasih sudah mewarnai hari-hari selama KKN dengan canda tawa, terkhusus febby dan nafa team kimia, makasih udah bantu aku selama kkn dan kuliahh, semangat dan sukses teruss!.
29. Untuk Vadia Rahma Asmahendra, terimakasih banyak udah selalu berjuang dan berusaha, udah mau melawan rasa malas, udah mau kerja keras dan mendapatkan gelar S.Si. Semangat terus Vadia!! Vadia harus bisa membanggakan orangtua. Terimakasih banyak Vadia, sukses terus! Semua urusan lancar dan dipermudah Allah SWT, aamiin. *Let's Go To The Next Journey! You Can Do It!*.
30. Semua pihak yang telah membantu dan memberikan informasi baik secara langsung ataupun tidak langsung, sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian dan skripsi ini dengan baik.

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

Indralaya, November 2021



Penulis

## DAFTAR ISI

|  | <b>Halaman</b> |
|--|----------------|
| <b>HALAMAN JUDUL .....</b>                                     | <b>i</b>       |
| <b>HALAMAN PENGESAHAN .....</b>                                | <b>ii</b>      |
| <b>HALAMAN PERSETUJUAN.....</b>                                | <b>iii</b>     |
| <b>PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH.....</b>                   | <b>iv</b>      |
| <b>HALAMAN PERSETUJUAN PUBLIKASI.....</b>                      | <b>v</b>       |
| <b>SUMMARY .....</b>   | <b>vi</b>      |
| <b>RINGKASAN .....</b>   | <b>vii</b>     |
| <b>HALAMAN PERSEMBAHAN.....</b>                                | <b>viii</b>    |
| <b>KATA PENGANTAR.....</b>                                     | <b>ix</b>      |
| <b>DAFTAR ISI.....</b>   | <b>xiv</b>     |
| <b>DAFTAR TABEL.....</b>                                       | <b>xvi</b>     |
| <b>DAFTAR GAMBAR.....</b>                                      | <b>xvii</b>    |
| <b>DAFTAR LAMPIRAN .....</b>                                   | <b>xviii</b>   |
| <b>BAB I PENDAHULUAN.....</b>                                  | <b>19</b>      |
| 1.1. Latar Belakang .....                                      | 19             |
| 1.2. Rumusan Masalah .....                                     | 3              |
| 1.3. Tujuan Penelitian .....                                   | 3              |
| 1.4. Manfaat Penelitian .....                                  | 3              |
| <b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....</b>                            | <b>4</b>       |
| 2.1. <i>Fuel Cell</i> .....                                    | 4              |
| 2.2. <i>Proton Exchange Membrane Fuel Cell (PEMFC)</i> .....   | 5              |
| 2.3. <i>Komponen Penyusun PEMFC</i> .....                      | 6              |
| 2.3.1. <i>Plat Bipolar</i> .....                               | 6              |
| 2.3.2. <i>Gasket</i> .....                                     | 7              |
| 2.3.3. <i>Membrane Electrode Assembly (MEA)</i> .....          | 8              |
| 2.3.3.1. <i>Membran Nafion</i> .....                           | 9              |
| 2.3.3.2. <i>Gas Diffusion Layer (GDL)</i> .....                | 10             |
| 2.3.3.3. <i>Lapisan Katalis</i> .....                          | 11             |
| 2.3.4. <i>Plat Penutup (End Plate)</i> .....                   | 12             |
| 2.4. <i>Karakterisasi MEA</i> .....                            | 12             |
| 2.4.1. <i>Penentuan Nilai ECSA Menggunakan Metode CV</i> ..... | 12             |

|  |           |
|--|-----------|
| 2.4.2. Penentuan Konduktivitas Elektrik Menggunakan EIS.....   | 13        |
| 2.5. Kurva Polarisasi .....  | 14        |
| 2.6. Suhu <i>Stack</i> .....   | 14        |
| 2.7. Tekanan Balik ( <i>Back Preassure</i> ) .....   | 15        |
| <b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN .....</b>   | <b>16</b> |
| 2.1. Waktu dan Tempat .....  | 16        |
| 2.2. Alat dan Bahan.....   | 16        |
| 2.2.1. Alat .....  | 16        |
| 2.2.2. Bahan.....  | 16        |
| 2.3. Prosedur Percobaan.....   | 16        |
| 3.3.1. Pembuatan Elektroda.....  | 16        |
| 3.3.2. Pembuatan MEA .....   | 17        |
| 3.3.3. Karakterisasi MEA.....  | 17        |
| 3.3.4. Pengujian Kinerja MEA pada PEMFC dengan pengaruh<br>Suhu <i>Stack</i> dan Tekanan Balik ..... | 18        |
| 3.3.5. Analisa Data .....  | 19        |
| 3.3.5.1. Analisis Karakterisasi Elektroda PEMFC .....  | 19        |
| 3.3.5.2. Analisis Kinerja MEA.....   | 20        |
| <b>BAB IV PEMBAHASAN .....</b>   | <b>22</b> |
| 4.1. Karakterisasi MEA.....  | 22        |
| 4.1.1 Karakterisasi MEA Menggunakan CV .....   | 22        |
| 4.1.2. Karakterisasi MEA Menggunakan Metode EIS .....  | 24        |
| 4.2. Uji Kinerja MEA pada PEMFC dengan Pengaruh Suhu <i>Stack</i><br>dan Tekanan Balik.....          | 26        |
| 4.2.1. Pengaruh Suhu <i>Stack</i> .....  | 26        |
| 4.2.2. Pengaruh Tekanan Balik .....  | 30        |
| <b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>  | <b>33</b> |
| 5.1. Kesimpulan .....  | 33        |
| 5.2. Saran.....  | 33        |
| <b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>  | <b>34</b> |

## DAFTAR TABEL

|  | <b>Halaman</b> |
|--|----------------|
| Tabel 1. Perhitungan Nilai ECSA MEA .....          | 23             |
| Tabel 2. Perhitungan Nilai Konduktivitas MEA ..... | 24             |



## DAFTAR GAMBAR

|   | <b>Halaman</b> |
|---|----------------|
| Gambar 1. Skema dari PEMFC <i>Stack</i> Tunggal.....      | 6              |
| Gambar 2. Komponen Penyusun PEMFC .....                   | 6              |
| Gambar 3. Struktur Kimia dari Nafion .....                | 10             |
| Gambar 4. Skema GDL untuk PEMFC.....                      | 11             |
| Gambar 5. Kurva Polarisasi <i>Fuel Cell</i> .....         | 14             |
| Gambar 6. Skema Uji Kinerja MEA.....                      | 20             |
| Gambar 7. Kurva Voltammogram MEA.....                     | 22             |
| Gambar 8. Kurva Nyquist MEA .....                         | 24             |
| Gambar 9. Grafik OCV Pengaruh Suhu <i>Stack</i> .....     | 26             |
| Gambar 10. Kurva I–V MEA Pengaruh Suhu <i>Stack</i> ..... | 27             |
| Gambar 11. Kurva I–P MEA Pengaruh Suhu <i>Stack</i> ..... | 28             |
| Gambar 12. Grafik OCV Pengaruh Tekanan Balik .....        | 30             |
| Gambar 13. Kurva I–V MEA Pengaruh Tekanan Balik .....     | 31             |
| Gambar 14. Kurva I–P MEA Pengaruh Suhu <i>Stack</i> ..... | 31             |

## DAFTAR LAMPIRAN

|   | <b>Halaman</b> |
|---|----------------|
| Lampiran 1. Skema Kerja .....                                       | 39             |
| Lampiran 2. Perhitungan Nilai ECSA Karakterisasi CV .....           | 41             |
| Lampiran 3. Perhitungan Nilai Konduktivitas Karakterisasi EIS ..... | 45             |
| Lampiran 4. Tabel Data Hasil Pengolahan Suhu <i>Stack</i> .....     | 47             |
| Lampiran 5. Tabel Data Hasil Pengolahan Tekanan Balik .....         | 49             |
| Lampiran 6. Gambar Alat Penelitian .....                            | 50             |

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

*Fuel cell* merupakan salah satu sistem elektrokimia yang mengubah energi kimia langsung menjadi energi listrik dan salah satu upaya pengembangan energi alternatif yang ramah lingkungan (Hasan, 2007). *Fuel cell* sudah banyak menarik perhatian karena *fuel cell* memiliki densitas energi yang tinggi, minim emisi karena produk sampingnya berupa air serta mudah dalam segi perawatan (Liu *et al.*, 2020). *Proton Exchange Membrane Fuel Cell* (PEMFC) merupakan salah satu jenis *fuel cell* yang sudah banyak dikembangkan. PEMFC merupakan *fuel cell* yang sangat efisien dan menghasilkan energi listrik dari reaksi elektrokimia antara gas hidrogen sebagai bahan bakar, gas oksigen sebagai oksidan, *Proton Exchange Membrane* (PEM) sebagai elektrolit dan terdapat lapisan katalis dalam kedua elektroda (Rohendi *et al.*, 2013). Kelebihan dari PEMFC yaitu memiliki rapat arus yang tinggi (40%–60%), mudah didistribusikan dan dapat beroperasi pada temperatur rendah (50–100°C) (Safitri *et al.*, 2016).

Komponen yang terpenting dalam PEMFC yakni *Membrane Electrode Assembly* (MEA) yang terdiri dari elektroda berupa katoda dan anoda yang mengapit elektrolit berupa membran. Pada anoda terjadi reaksi oksidasi gas hidrogen yang akan menghasilkan proton, proton tersebut akan bergerak dari anoda menuju katoda melalui elektrolit berupa *Proton Exchange Membrane* (PEM), kemudian pada katoda terjadi reaksi reduksi gas oksigen sehingga proton akan bereaksi dengan oksigen dan membentuk produk berupa air (Neyerlin *et al.*, 2007).

Kandungan katalis pada elektroda dapat mempengaruhi kinerja MEA pada PEMFC. Aktivitas katalitik yang baik dapat meningkatkan kinerja MEA sehingga waktu yang dibutuhkan untuk menghasilkan energi listrik lebih cepat (Li *et al.*, 2019). Pada penelitian yang telah dilakukan oleh Pasaribu (2021) mengenai pembuatan MEA dengan katalis Pd-Co/C dengan perbandingan Pd dan Co 100:0, 75:25, 50:50, 25:75 dan 0:100 didapatkan perbandingan terbaik pada 75:25 dan penelitian yang telah dilakukan oleh Nursyahfitri (2021) mengenai pembuatan MEA dengan katalis Pd-Ni/C dengan perbandingan Pd dan Ni 100:0, 75:25, 50:50, 25:75 dan 0:100 didapatkan perbandingan terbaik pada 75:25. Perbandingan terbaik

pada katalis Pd-Co/C dan Pd-Ni/C tersebut akan dilanjutkan pada penelitian ini untuk mengetahui kinerja PEMFC pada variasi suhu *stack* dan tekanan balik.

Kinerja PEMFC dapat dipengaruhi oleh degradasi MEA. Degradasi MEA dapat disebabkan oleh banyak faktor seperti, suhu *stack* dan tekanan balik. Pada penelitian yang pernah dilakukan oleh Alberto et al (2010) mengenai pengaruh suhu *stack* dalam pengoperasian *fuel cell* didapatkan bahwa faktor suhu *stack* dapat mempengaruhi kelembaban pada *stack* PEMFC yaitu kadar air dan dapat meningkatkan kinetika reaksi pada MEA sehingga dapat meningkatkan kinerja PEMFC. Akan tetapi, pada pemberian suhu *stack* yang terlalu tinggi akan menyebabkan keretakan dan kerusakan pada MEA dikarenakan mengalami kekeringan atau terhidrasi. Pada penelitian yang pernah dilakukan oleh Zhang et al (2013) mengenai pengaruh tekanan balik terhadap kinerja *fuel cell* didapatkan bahwa faktor tekanan balik dapat mempengaruhi kinerja PEMFC, pengoperasian PEMFC pada tekanan balik yang tinggi dapat meningkatkan kinerja PEMFC, karena tekanan balik dapat memberikan dorongan untuk membantu meningkatkan jumlah gas hidrogen yang terdifusi ke katalis. Pemberian tekanan balik yang tinggi dapat mengakibatkan gas hidrogen crossover sehingga MEA dapat rusak atau terbakar dan dapat mempengaruhi kinerja PEMFC.

Kinerja pada PEMFC dapat dianalisis menggunakan kurva polarisasi (Kurva I–V) yaitu kurva yang memperlihatkan hubungan antara potensial yang dihasilkan (V) dengan rapat arus (I). Menggunakan kurva polarisasi selama pengoperasian PEMFC dapat mengevaluasi kerugian dan mengetahui parameter yang mewakili setiap komponen. Parameter-parameter yang diperoleh dari kurva polarisasi tersebut kemudian dapat digunakan sebagai estimasi dasar untuk meningkatkan kinerja PEMFC melalui optimasi desain, sistem kontrol dan parameter operasional (Thosar *et al.*, 2019).

Berdasarkan penjelasan di atas dilakukan penelitian mengenai kinerja PEMFC *stack* tunggal terhadap suhu *stack* dan tekanan balik menggunakan katalis Pd-Co/C dan Pd-Ni/C. Pada penelitian ini menggunakan dua buah MEA. MEA pertama menggunakan katalis Pd-Co/C pada sisi katoda dan katalis Pt/C pada sisi anoda. MEA kedua menggunakan katalis Pd-Ni/C pada sisi katoda dan katalis Pt/C pada sisi anoda. Masing – masing MEA dilakukan analisis variasi suhu *stack* pada

suhu ruang, 40°C, 60°C dan 80°C serta tekanan balik pada 0,05 psi, 0,1 psi, 0,15 psi, 0,2 psi dan 0,25 psi. Analisis tersebut dilakukan satu sel pada *stack* PEMFC.

## **1.2. Rumusan Masalah**

Komponen terpenting dalam PEMFC yakni MEA, kandungan katalis pada MEA dapat mempengaruhi kinerja PEMFC. Katalis yang digunakan Pt/C pada anoda dan katalis Pd-Co/C dan Pd-Ni/C masing – masing pada katoda, selanjutnya dilakukan analisis variasi suhu *stack* dan tekanan balik. Permasalahan utama pada penelitian ini adalah bagaimana pengaruh suhu *stack* dan tekanan balik terhadap kinerja MEA pada *Stack* tunggal PEMFC dengan katalis Pd-Co/C dan Pd-Ni/C.

## **1.3. Tujuan Penelitian**

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Melakukan karakterisasi aktivitas katalitik MEA dengan menggunakan metode *Cyclic Voltammetry* (CV) dan pengukuran konduktivitas elektrik menggunakan metode *Electrochemical Impedance Spectroscopy* (EIS).
2. Mengetahui kinerja MEA pada PEMFC dengan menggunakan katalis Pd-Co/C dan Pd-Ni/C pada berbagai variasi suhu *stack* yaitu suhu ruang, 40°C, 60°C dan 80°C dan tekanan balik yaitu 0,05 psi, 0,1 psi, 0,15 psi, 0,2 psi dan 0,25 psi dengan katalis Pd-Co/C dan Pd-Ni/C pada *Proton Exchange Membrane Fuel Cell* (PEMFC).
3. Membandingkan kinerja MEA berdasarkan variasi suhu *stack* dan tekanan balik antara MEA yang menggunakan katalis Pd-Co/C dan MEA yang menggunakan katalis Pd-Ni/C.

## **1.4. Manfaat Penelitian**

Manfaat penelitian ini untuk mengetahui kinerja MEA pada *Proton Exchange Membrane Fuel Cell* (PEMFC) dalam variasi suhu dan tekanan balik serta memberikan kontribusi terhadap pengembangan teknologi *fuel cell*.

## DAFTAR PUSTAKA

- Alberto, L., Riascos, M., and Pereira, D. D. 2010. Controlling operating temperature in pem fuel cells. *ABCM Symposium Series in Mechatronics*. 4(1):137–146.
- Baroutaji, A., Carton, J. G., Sajjia, M., and Olabi, A. G. 2016. Materials in PEM Fuel Cells. In *Reference Module in Materials Science and Materials Engineering*.
- Basuli, U., Jose, J., Lee, R. H., Yoo, Y. H., Jeong, K., Ahn, J., Nah, C., and Nah, C. 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. *Journal of Nanoscience and Nanotechnology*. 12(10):7641–57.
- Chang, B. Y., and Park, S. M. 2010. Electrochemical impedance spectroscopy. *Annual Review of Analytical Chemistry*. 3(1):207–229.
- Dicks, A. L. 2020. PEM Fuel Cells: Applications. In *Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences* (2nd ed.). Elsevier Inc.
- Elgrishi, N., Rountree, K. J., McCarthy, B. D., Rountree, E. S., Eisenhart, T. T., and Dempsey, J. L. 2018. A Practical Beginner's Guide to Cyclic Voltammetry. *Journal of Chemical Education*. 95(2), 197–206.
- Esfeh, H. K., and Hamid, M. K. A. 2014. Temperature effect on proton exchange membrane fuel cell performance Part II: Parametric study. *Energy Procedia*, 61(1):2617–2620.
- Guaitolini, S. V. M., and Fardin, J. F. 2018. Fuel Cells: History (Short Remind), Principles of Operation, Main Features, and Applications. In *Advances in Renewable Energies and Power Technologies* 2(1):123–150).
- Habibullah. 2015. Penghematan Gas H<sub>2</sub> Pada Sistem PEMFC (Proton Exchange Membrane Fuel Cell) Sesuai Perubahan Daya Beban. *Jurnal Ilmiah Poli Rekayasa*, 10(2):46.
- Hasan, A. 2007. Aplikasi Sistem Fuel Cell Sebagai Energi Ramah Lingkungan di Sektor Transportasi dan Pembangkit. *Teknik Lingkungan* 8(3,):277–286.
- Hawa Yulianti, D., Rohendi, D., Syarif, N., and Rachmat, A. (2019). Performance Test of Membrane Electrode Assembly in DAFC using Mixed Methanol and

- Ethanol Fuel with Various Volume Comparison. *Indonesian Journal of Fundamental and Applied Chemistry*. 4(3):139–142.
- Holton, O. T., and Stevenson, J. W. 2013. The Role of Platinum in Proton Exchange Membrane Fuel Cells Evaluation of platinum's unique properties for use in both the anode and cathode of a proton exchange membrane fuel cell. *BULLET Platinum Metals Rev.* 57(4):259–271.
- Hou, Y., Zhou, B., Zhou, W., Shen, C., and He, Y. 2012. An investigation of characteristic parameter variations of the polarization curve of a proton exchange membrane fuel cell stack under strengthened road vibrating conditions. *International Journal of Hydrogen Energy*. 37(16):11887–11893.
- Huang, X., Zhang, Z., Member, S., Jiang, J., & Member, S. 2014. Fuel Cell Technology for Distributed Generation : An Overview. *IEEE ISIE*, 1(1): 1613–1618.
- Li, Y., Zhou, Z., Liu, X., and Wu, W. T. 2019. Modeling of PEM fuel cell with thin MEA under low humidity operating condition. *Applied Energy*. 242(1):1513–1527.
- Liu, L., Samjeske, G., Nagamatsu, S. I., Sekizawa, O., Nagasawa, K., Takao, S., Imaizumi, Y., Yamamoto, T., Uruga, T., and Iwasawa, Y. 2014. Dependences of the oxygen reduction reaction activity of Pd-Co/C and Pd-Ni/C alloy electrocatalysts on the nanoparticle size and lattice constant. *Topics in Catalysis*. 57(6–9):595–606.
- Liu, R., Zhou, W., Li, S., Li, F., and Ling, W. 2020. Performance improvement of proton exchange membrane fuel cells with compressed nickel foam as flow field structure. *International Journal of Hydrogen Energy*. 45(35):17833–17843.
- Lu, J. B., Wei, G. H., Zhu, F. J., Yan, X. H., and Zhang, J. L. 2019. Pressure Effect on the PEMFC Performance. *Fuel Cells*. 19(3):211–220.
- Ma'ruf, H., and Widiharsa, F. A. 2016. Fuel Cell Sebagai Sumber Energi Listrik Alternatif Pengisi. *Transmisi*. 7(1):45–54.
- Maiyalagan, T., and Pasupathi, S. 2010. Components for PEM fuel cells: An overview. In *Materials Science Forum*. 657(1): 143-189.
- Majlan, E. H., Rohendi, D., Daud, W. R. W., Husaini, T., and Haque, M. A. 2018.

- Electrode for proton exchange membrane fuel cells. In *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 89:117–34.
- Mardle, P., and Du, S. 2017. Materials for PEMFC Electrodes. *Reference Module in Materials Science and Materials Engineering*. 1(1):1–13.
- Maulana, M. I., Syahbanu, I., and Harlia. 2017. Sintesis dan Karakterisasi Material Konduktif Film Komposit Polipirol (PPy)/Selulosa Bakteri. *Jkk*, 6(3):11–18.
- Neyerlin, K. C., Gu, W., Jorne, J., Clark, A., and Gasteiger, H. A. 2007. Cathode Catalyst Utilization for the ORR in a PEMFC. *Journal of The Electrochemical Society*. 154(2):279.
- Nursyahfitri, Dilla. 2021. Pembuatan Dan Uji Kinerja Membrane Electrode Assembly (MEA) Dengan Katalis Pd-Ni/C Pada Proton Exchange Membrane Fuel Cell (PEMFC). Skripsi: Universitas Sriwijaya.
- Park, S., Lee, J. W., and Popov, B. N. 2012. A review of gas diffusion layer in PEM fuel cells: Materials and designs. *International Journal of Hydrogen Energy*. 37(7):5850–5865.
- Prykhodko, Y., Fatyeyeva, K., Hespel, L., and Marais, S. 2021. Progress in hybrid composite Nafion®-based membranes for proton exchange fuel cell application. *Chemical Engineering Journal*. 1(1):1-36.
- Qin, C., Wang, J., Yang, D., Li, B., and Zhang, C. 2016. Proton exchange membrane fuel cell. *Catalysts*. 6(12):1–21.
- Randviir, E. P., and Banks, C. E. 2013. Electrochemical Impedance Spectroscopy. *Anal. Methods*. 5(1):1–51.
- Reshetenko, T. V., Bender, G., Bethune, K., and Rocheleau, R. 2011. Systematic study of back pressure and anode stoichiometry effects on spatial PEMFC performance distribution. *Electrochimica Acta*. 56(24):8700–8710.
- Rohendi, D., Majlan, E. H., Mohamad, A. B., Daud, W. R. W., Kadhum, A. A. H., and Shyuan, L. K. 2015. Effects of temperature and back pressure on the performance degradation of MEA in PEMFC. *International Journal of Hydrogen Energy*. 40(34):10960–68.
- Rohendi, D., Majlan, E. H., Mohamad, A. B., Wan Daud, W. R., Hassan Kadhum, A. A., and 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):9431–37.
- Pasaribu, R., B., S. 2021. Pembuatan Dan Uji Kinerja Membrane Electrode Assembly (MEA) Dengan Katalis Pd-Co/C Pada Proton Exchange Membrane Fuel Cell (PEMFC). Skripsi: Universitas Sriwijaya.
- Safitri, I. A., Rudyanto, B., Nursalim, A., and Hariono, B. 2016. Uji Kinerja Smart Gried Fuel Cell Tipe Proton Exchange Membran (PEM) Dengan Penmbahan Hidrogen. *Jurnal Ilmiah Inovasi*. 16(1):11–16.
- Sapkota, P., Boyer, C., Dutta, R., Cazorla, C., and Aguey-Zinsou, K. F. 2020. Planar polymer electrolyte membrane fuel cells: Powering portable devices from hydrogen. *Sustainable Energy and Fuels*. 4(2):439–68.
- Shiva Kumar, S., Ramakrishna, S. U. B., Rama Devi, B., and Himabindu, V. 2018. Phosphorus-doped graphene supported palladium (Pd/PG) electrocatalyst for the hydrogen evolution reaction in PEM water electrolysis. *International Journal of Green Energy*, 15(10):558–67.
- Sreenivasulu, B., Vasu, G., Dharma, R., and Naidu, S. . 2013. Effect of Back Pressure and Flow Geometry on Pem Fuel Cell Performance - an Experimental Study. *International Journal of Applied Science and Engineering*, 11(1):1–11.
- Thosar, A. U., Agarwal, H., Govarthan, S., and Lele, A. K. 2019. Comprehensive analytical model for polarization curve of a PEM fuel cell and experimental validation. *Chemical Engineering Science*, 206(1): 96–117.
- Wu, F., Chen, B., Yan, Y., Chen, Y., and Pan, M. 2018. Degradation of silicone rubbers as sealing materials for proton exchange membrane fuel cells under temperature cycling. *Polymers*. 10(5):1–13.
- Zhang, J., Song, C., Zhang, J., Baker, R., and Zhang, L. 2013. Understanding the effects of backpressure on PEM fuel cell reactions and performance. In *Journal of Electroanalytical Chemistry*. 688(1):130–36.