

UJI KINERJA DAN KETAHANAN *MEMBRANE ELECTRODE ASSEMBLY* (MEA) DENGAN KATALIS Pt-Co/C PADA MULTI STEK *PROTON EXCHANGE MEMBRANE FUEL CELL* (PEMFC)

SKRIPSI

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



Oleh:

EKO AFRIZAL

08031281823024

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

2022

HALAMAN PENGESAHAN

UJI KINERJA DAN UJI KETAHANAN *MEMBRANE ELECTRODE ASSEMBLY* (MEA) DENGAN KATALIS Pt-Co/C PADA MULTI STEK *PROTON EXCHANGE MEMBRANE FUEL CELL* (PEMFC)

SKRIPSI

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

Oleh :

EKO AFRIZAL

08031281823024

Inderalaya, 19 September 2022

Mengetahui,

Pembimbing I



Dr. Dedi Rohendi, M.T.

NIP. 196704191993031001

Pembimbing II



Dr. Addy Rachmat, M.Si.

NIP. 197409282000121001

Dekan FMIPA



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

NIP. 197111191997021001

HALAMAN PERSETUJUAN

Karya tulis ilmiah berupa skripsi ini dengan judul “Uji Kinerja dan Ketahanan *Membrane Electrode Assembly* (MEA) dengan Katalis Pt-Co/C pada Multi Stek *Proton Exchange Membrane Fuel Cell* (PEMFC)”, telah dipertahankan dihadapan Tim Penguji Sidang Sarjana Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Sriwijaya pada tanggal 7 September 2022 dan telah diperbaiki, diperiksa serta disetujui sesuai masukan yang diberikan.

Indralaya, 19 September 2022

Ketua:

1. **Dr. Addy Mara, M.Si.**

NIP. 196404301990031003

()

Sekretaris:

1. **Widia Purwaningrum, M.Si.**

NIP. 197304031999032001

()

Pembimbing:

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

NIP. 196704191993031001

()

2. **Dr. Addy Rachmat, M.Si.**

NIP. 197409282000121001

()

Penguji:


1. **Fahma Riyanti, M.Si.**

NIP. 197202052000032001

()

2. **Dr. Eliza, M.Si.**

NIP. 196407291991022001

()

Mengetahui,

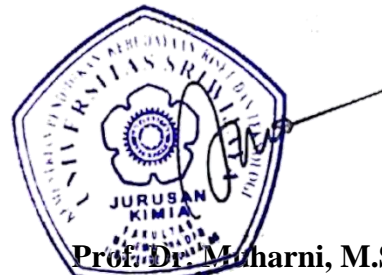
Dekan Fakultas MIPA



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

NIP. 197111191997021001

Ketua Jurusan Kimia



Prof. Dr. Muharni, M.Si.

NIP. 196903041994122001

PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama Mahasiswa : Eko Afrizal

NIM : 08031281823024

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, 19 September 2022

Penulis,



Eko Afrizal

NIM. 08031281823024

**HALAMAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH UNTUK
KEPENTINGAN AKADEMIS**

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

Nama Mahasiswa : Eko Afrizal
NIM : 08031281823024
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 : “Uji Kinerja dan Ketahanan *Membrane Electrode Assembly* (MEA) dengan Katalis Pt-Co/C pada Multi Stek *Proton Exchange Membrane Fuel Cell* (PEMFC)”. Dengan hak bebas royalti non-eksklusif ini Universitas Sriwijaya berhak menyimpan, mengalih, edit/memformatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (database), merawat, dan mempublikasikan tugas akhir atau skripsi saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik hak cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya.

Indralaya, 19 September 2022

Yang Menyatakan,



Eko Afrizal

08031281823024

HALAMAN PERSEMBAHAN

“Maka sesungguhnya bersama kesulitan ada kemudahan. Sesungguhnya bersama kesulitan ada kemudahan”

Q.S. Al Insyirah 94:5-6

“Jangan menyesali apapun yang terjadi dalam hidup kita, sekalipun banyak hal buruk yang kita alami, yakin semua bakal ada akhirnya”

Untuk kedua orang tua dan saudara/iku

Sahabat-sahabatku

Almamaterku

Skripsi ini kupersembahkan untuk kalian

“Experience is the best teacher”

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT atas ridho dan izin-Nya lah penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan judul “Uji Kinerja dan Ketahanan *Membrane Electrode Assembly (MEA)* dengan Katalis Pt-Co/C pada Multi Stek *Proton Exchange Membrane Fuel Cell (PEMFC)*” 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. dan bapak Dr. Addy Rachmat, 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 Fahma Riyanti, M.Si. dan ibu Dr. Eliza, M.Si. selaku dosen pembahas seminar hasil dan penguji sidang sarjana.
4. Kak Iin dan mbak Novi selaku admin jurusan kimia yang telah membantu proses administrasi serta semua dosen dan karyawan yang tidak dapat disebutkan satu persatu, yang telah banyak memberikan ilmu selama penulis mengemban dunia perkuliahan.
5. Bapak Holidi dan Ibu Ermatuti S.Pd.,SD. selaku orang tua yang telah memberikan doa, semangat, restu untuk kuliah serta kucuran dana untuk kepentingan kuliah dan dunia penajanaan.
6. Saudari penulis yaitu Vopi heianingsi, S. Pd. dan Jeni Dwi Putri, Amd. Keb. atas bantuannya selama penulis menempuh dunia perkuliahan baik dalam hal akademik maupun non akademik.
7. M Ridho Mandiri, S. Ked. dan Andi Wijaya selaku sahabat penulis atas supportnya yang sudah menjadi tempat untuk penulis melupakan sejenak masalah perkuliahan. Buat Shesa semangat penelitiannya semangat buat lulus tahun ini, jangan patah semangat
8. Teman-teman kelas IPA 2 yang terus-menerus mengajak penulisan nongkrong sampai lupa tugas.

9. 8 naga (Mandor, Toeng, Phima, Ibon, Sungki, Prof Ibal, Sandi) yang telah menjadi sobat karib penulis terutama dalam bidang akademik, selalu menjalani dan melalui rintangan bidang akademik bersama-sama. Kita dipertemukan oleh pendidikan dan akan direunikan kembali oleh kesuksesan.
10. Ilyas selaku coach penulis dalam penulisan skripsi dan pelaksanaan penelitian yang telah memberikan saran dan pengetahuan mengenai fuel cell. Prima, tejak dan keke yang telah menjadi rekan penelitian penulis yang tak pernah lupa untuk mengajak penulis untuk mengurus masalah pendaftaran serta pemberkasan agar semakin cepat mendapatkan gelar sarjana.
11. Tim penelitian Pt-Co/C yaitu anin dan devi yang telah lulus menjadi sarjana duluan. Devi yang menjadi tempat mengeluh dan tempat berantem selama penelitian dan membantu untuk belajar sebelum seminar dan sidang serta membantu penulis menyelesaikan skripsi. Untuk Anin yang selalu ada setiap devi ngambek dan tidak mau ngobrol dengan penulis dan membantu penulis untuk menyelesaikan penelitian. Terima kasih buat kalian yang sudah membuat penelitian ini lebih berwarna dan tidak monoton.
12. Kak dwi, kak ica dan kak Reka selaku mentor yang sangat baik hati, tidak sombong dan rajin menabung. Terima kasih kepada kakak-kakak atas ilmunya dan bantuannya selama penelitian dilaksanakan. Terima kasih sudah menjawab pertanyaan dari penulis yang tidak penting, terima kasih sudah menolong penulis dalam menemukan barang dan terima kasih telah membantu penulis untuk memotong elektroda.
13. Tim PUR 1 (Ilyas, Balqis, Irma, igam, Fatma, Cici, Anin, Devi, Sandi, Marya, Delima, Sabrina, Ade) berkat mengamati penelitian kalian penulis jadi memiliki basic untuk melaksanakan penelitiannya dan Tim PUR 2 (Prima, Tejak, Keke, Ade, Dinda, Gipar, Kak Nadia, Martha) walaupun interaksi kita tentang penelitian masing-masing tidak terlalu dalam tapi terima kasih sudah saling membantu.
14. Tatak dan Ariqah selaku teman yang selalu memberikan support. Terima kasih sudah menjadi teman penulis sampai saat ini, semoga pertemanan ini berlangsung sampai hari tua.

15. Apip dan ikki terima kasih sudah mau menampung penulis untuk menumpang di kos kalian. Terima kasih untuk pelajarannya mengenai arti teman selama perkuliahan. Big thanks untuk kos furnace dan kos Apip.
16. Untuk adik asuh abang yang tergantung dan baik hati yaitu King Jepri. Terima kasih sudah menjadi adik asuh yang berbakti, semangat penelitiannya semangat lulus 3,5 tahun.
17. Teman-teman Angkatan 2018 yang tidak dapat disebutkan satu persatu, senang bisa mengenal kalian semua. Kalian memberikan pelajaran yang sangat banyak dan berarti untuk kehidupan penulis.
18. Kakak-kakak Angkatan 2014, 2015, 2016, dan 2017, terima kasih untuk ilmu yang banyak sekali penulis dapatkan dari kalian.
19. Adik-adik Angkatan 2019 dan 2020 lainnya, penulis bersyukur bisa lebih mengenal kalian sebagai praktikan saat menjadi koas kalian ataupun saat menjadi asisten kalian. Tetap semangat di kimia.
20. Untuk semua pihak maupun orang-orang yang penulis kenal dan tidak disebutkan, terima kasih dan maaf penulis ucapkan. Karena pembuatan kata pengantar ini cukup mendesak dan mepet waktunya.
21. Last but not least, I wanna thank me. I wanna thank me for believing me, I wanna thank me for doing all this hard work, I wanna thank me for having no days off, I wanna thank me for never quitting, I wanna thank me for always being a giver and tryna give more than I receive, I wanna thank me for tryna do more right than wrong, I wanna thank me for just being me at all times. Mr. Akasaka here, Peace out.

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.

Indralaya, 19 September 2022

Penulis

SUMMARY

MEMBRANE ELECTRODE ASSEMBLY (MEA) PERFORMANCE AND DURABILITY TEST WITH Pt-Co/C CATALYST ON MULTISTACK PROTON EXCHANGE MEMBRANE FUEL CELL (PEMFC)

Eko Afrizal, Supervised by Dr. Dedi Rohendi, M.T. and Dr. Addy Rachmat, M.Si.

Department of Chemistry, Faculty of Mathematics and Natural Sciences, Sriwijaya University.

xvii+43 pages, 1 Table, 9 Pictures and 7 Attachments

Performances and durability testing of the Membrane Electrode Assembly (MEA) with Pt-Co/C catalyst on Multistack Proton Exchange Membrane Fuel Cell (PEMFC) has been carried out. The MEA used in this study were 3 pieces with each size of 6.33 x 30 cm². Based on the results of the characterization using the Cyclic voltammetry (CV) method, the ECSA value was 1.0011 x 10⁻⁹ cm²/g and the conductivity value for the electrochemical impedance spectroscopy method was 1.5439 x 10⁻⁸ S/cm. In addition, the performance of MEA is also tested by varying the load (current density) so that it will produce an I-V curve and an I-P curve. The value of Open Circuit Voltage (OCV) is 1.901 V and the optimum power density is 6.3154 mW/cm² with optimum load is 7.193 mA/cm². The MEA durability test was carried out for 10 hours at optimum load. The durability of MEA during loading within 10 hours at optimum load decreased the voltage from 0.98 V to 0.629 V with a difference of 0.351 V.

Keyword : Pt-Co/C, MEA, PEMFC, *Multistack*, *Cyclic Voltammetry* and *Electrochemical Impedance Spectroscopy*.

Citation : 44(2010-2022)

RINGKASAN

UJI KINERJA DAN KETAHANAN *MEMBRANE ELECTRODE ASSEMBLY* (MEA) DENGAN KATALIS Pt-Co/C PADA MULTI STEK *PROTON EXCHANGE MEMBRANE FUEL CELL* (PEMFC)

Eko Afrizal, dibimbing oleh Dr. Dedi Rohendi, M.T. dan Dr. Addy Rachmat, M.Si.

Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Sriwijaya.
xvii+43 Halaman, 1 Tabel, 9 Gambar dan 7 Lampiran

Pengujian kinerja dan daya tahan *Membrane Electrode Assembly* (MEA) dengan katalis Pt-Co/C pada multi stek *Proton Exchange Membrane Fuel Cell* (PEMFC) telah dilakukan. MEA yang digunakan pada penelitian sebanyak 3 buah dengan ukuran masing-masing 6,33x30 cm multi stek. Berdasarkan hasil karakterisasi metode *cyclic voltammetry* (CV) didapatkan nilai ECSA sebesar $1,0011 \times 10^{-9} \text{ cm}^2/\text{g}$ dan karakterisasi metode *Electrochemical Impedance Spectroscopy* (EIS) dengan nilai konduktivitas sebesar $1,5439 \times 10^{-8} \text{ S/cm}$. Selain itu, kinerja MEA diuji dengan pemberian beban (densitas arus) yang bervariasi sehingga akan menghasilkan kurva I-V dan kurva I-P. Nilai *Open Circuit Voltage* (OCV) yang diperoleh sebesar 1,901 V dan densitas daya optimum sebesar $6,3154 \text{ mW/cm}^2$ pada beban optimum $7,193 \text{ mA/cm}^2$. Ketahanan MEA selama pemberian beban dalam kurun waktu 10 jam pada beban optimum mengalami penurunan tegangan dari tegangan awal 0,98 V menjadi 0,629 V dengan selisih 0,351 V.

Kata Kunci : Pt-Co/C, MEA, PEMFC, Multi Stek, *Cyclic Voltammetry*,
Electrochemical Impedance Spectroscopy.

Sitasi : 44(2010-2022)

DAFTAR ISI

COVER	i
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	x
RINGKASAN	xi
DAFTAR ISI.....	xii
DAFTAR TABEL.....	xv
DAFTAR GAMBAR.....	xvi
DAFTAR LAMPIRAN	xvii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Manfaat Penelitian	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	4
2.1 Hidrogen.....	4
2.2 <i>Fuel Cell</i>	4
2.3 <i>Proton Exchange Membrane Fuel Cell (PEMFC)</i>	5
2.4 Katalis.....	6
2.5 <i>Membrane Electrode Assembly (MEA)</i>	7
2.5.1 <i>Gas Diffusion Layer (GDL)</i>	7
2.5.2 <i>Catalyst Layer (CL)</i>	7
2.5.3 Membran Nafion 212	8
2.6 <i>Multistack</i>	8
2.7 Karakterisasi MEA.....	9

2.7.1 <i>Cyclic Voltammetry (CV)</i>	9
2.7.2 <i>Electrochemical Impedance Spectroscopy (EIS)</i>	9
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	10
3.1 Waktu dan Tempat	10
3.2 Alat dan Bahan	10
3.2.1 Alat	10
3.2.2 Bahan.....	10
3.3 Prosedur Penelitian.....	10
3.3.1 Pembuatan GDL.....	10
3.3.2 Pembuatan Elektroda.....	11
3.3.2.1 Anoda	11
3.3.2.2 Katoda	11
3.3.3 Pembuatan MEA	11
3.3.4 Karakterisasi MEA.....	12
3.3.4.1 Pengujian Sifat Elektrokimia Menggunakan Metode <i>Cyclic Voltammetry (CV)</i>	12
3.3.4.2 Pengujian Konduktivitas Elektrik Menggunakan Metode <i>Electrochemical Impedance Spectroscopy (EIS)</i>	12
3.3.5 Uji Kinerja dan Daya Tahan MEA.....	13
3.4 Analisis Data	13
3.4.1 Analisis CV	13
3.4.2 Analisis EIS.....	13
3.4.3 Analisis Kinerja MEA.....	14
3.4.4 Analisis Daya Tahan MEA	14
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	15
4.1 Pembuatan MEA	15
4.2 Karakterisasi MEA.....	17
4.2.1 Pengujian Sifat Elektrokimia Menggunakan Metode CV.....	17
4.2.2 Pengujian Konduktivitas Elektrik Menggunakan Metode EIS... ..	18
4.3 Uji Kinerja dan ketahanan MEA	19
4.3.1 Uji Kinerja I-V pada MEA.....	20
4.3.2 Uji kinerja I-P pada MEA	21

4.3.3 Uji Ketahanan pada MEA	22
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	24
5.1 Kesimpulan.....	24
5.2 Saran.....	24
DAFTAR PUSTAKA	25
LAMPIRAN.....	29

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Uji daya tahan terhadap MEA.....	14
---	----

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Skema reaksi pada elektroda <i>fuel cell</i>	5
Gambar 2. Struktur <i>catalyst layer</i>	7
Gambar 3. Morfologi GDL	15
Gambar 4. (a) Elektroda Pt/C (b) Elektroda Pt-Co/C	16
Gambar 5. Kurva voltamogram MEA dengan katalis Pt-Co/C.....	17
Gambar 6. Kurva <i>Nyquist</i> MEA dengan katalis Pt-Co/C.....	19
Gambar 7. Kurva I-V pada MEA dengan katalis Pt-Co/C.....	20
Gambar 8. Kurva I-P pada MEA dengan katalis Pt-Co/C	21
Gambar 9. Kurva pengaruh waktu terhadap kinerja MEA	22

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Skema Kerja	30
Lampiran 2. Perhitungan Elektroda	32
Lampiran 3. Perhitungan Nilai ECSA Karakterisasi Metode CV	34
Lampiran 4. Perhitungan Nilai Konduktivitas Karakterisasi Metode EIS	36
Lampiran 5. Perhitungan Hasil Uji Kinerja MEA	37
Lampiran 6. Perhitungan Hasil Uji Ketahanan MEA	39
Lampiran 7. Alat dan Bahan Penelitian	40

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pembangkit listrik dan transportasi berbahan bakar fosil merupakan dua sumber utama dari emisi gas karbon dioksida (Haseli, 2018). Penggunaan alat tersebut memberikan dampak yang sangat besar pada lingkungan akibat dari emisi yang dikeluarkan (Evrin *and* Dincer, 2019). Dikarenakan meningkatnya polusi udara dari penggunaan energi fosil, memotivasi pengembangan sumber energi terbarukan dan ramah lingkungan. *Fuel cell* merupakan kandidat utama untuk mengatasi kendala tersebut. *Fuel cell* dapat memproduksi listrik dengan menggunakan reaksi kimia, sehingga menarik perhatian industri dan peneliti dunia (Liu *and* Zio, 2018).

Proton Exchange Membrane Fuel Cell (PEMFC) adalah salah satu jenis dari *fuel cell* yang paling berkembang dan penyebarannya luas. Reaksi kimia yang terjadi pada PEMFC dapat menghasilkan listrik dengan emisinya hanya berupa air bukan gas beracun (Liu *and* Zio, 2018). PEMFC memiliki suhu operasional dikisaran 80°C yang dapat dikatakan relatif rendah sehingga sangat efisien. PEMFC merupakan sel elektrokimia yang di dalamnya terjadi oksidasi hidrogen di anoda dan reduksi oksigen di katoda (Postole *and* Auroux, 2011). Kelebihan metode PEMFC dibandingkan jenis *fuel cell* yang lain di antaranya adalah bebas polusi, pengoperasiannya yang mudah karena pada PEMFC sudah menggunakan membran elektrolit agar terhindar dari korosi, pengoperasiannya juga berlangsung cepat dan memiliki nilai efisiensi pada konversi yang tinggi hingga 50% (Wafiroh dkk, 2016).

Logam yang paling baik untuk digunakan sebagai katalis pada PEMFC adalah logam platina (Pt) (Ahn *and* Wang, 2011). Selain menggunakan Pt tunggal sebagai katalis, pemakaian logam transisi lain seperti kobalt (Co) sebagai katalis kombinasi dengan Pt dapat menjadi salah satu solusinya. Penggabungan antara Pt dan Co memiliki fungsi untuk mengurangi penggunaan Pt dan meningkatkan fungsi katalitik dari elektroda (Rohendi dan Yulinar, 2010). Kelebihan kobalt sebagai katalis paduan dengan platina dapat meningkatkan stabilitas dan ketahanan katalis terhadap korosi. Penggunaan kobalt untuk digabungkan dengan logam platina

sebagai katalis juga dapat membuat Pt dan Co terdistribusi dengan baik dipermukaan karbon (Woo *et al.*, 2011). Penggunaan katalis Pt dan Co diterapkan pada sisi anoda. Rasio antara Pt dan Co pada katalis yang digunakan ialah 75:25. Berdasarkan data hasil penelitian yang pernah dilakukan didapatkan bahwa katalis dengan rasio 75:25 memiliki performa yang lebih baik dibandingkan dengan katalis dengan rasio 0:1, 25:75, 50:50 dan 1:0 (Zahara, 2022).

Elektroda yang digunakan pada penelitian ini menggunakan katalis kombinasi Pt-Co/C dan Pt/C. Kedua elektroda (katoda dan anoda) digabungkan dengan membran nafion membentuk *Membrane Electrode Assembly* (MEA). MEA yang sudah dibuat kemudian dilakukan karakterisasi terlebih dahulu dengan menggunakan metode *Cyclic Voltammetry* (CV) dan metode *Electrochemical Impedance Spectroscopy* (EIS). Metode CV dilakukan untuk mengetahui nilai *Electrochemical Active Surface Area* (ECSA), sedangkan metode EIS dilakukan untuk mengetahui nilai konduktivitas.

Setelah dikarakterisasi MEA kemudian diuji kinerja dan ketahanannya dalam stack dengan cara diukur *Open Circuit Voltage* (OCV) dan diukur potensial selnya pada kondisi beban yang bervariasi. Hambatan pada stek tunggal *fuel cell* memiliki keterbatasan pada daya yang dihasilkan. Penggunaan multi stek pada PEMFC dapat mengatasi hambatan-hambatan tersebut, multi stek PEMFC memiliki efisiensi lebih tinggi dengan daya yang dihasilkan lebih besar dibandingkan dengan stek tunggal (Cardozo *et al.*, 2015). Perbedaan antara stek tunggal dan multi stek terdapat pada jumlah MEA yang digunakan, stek tunggal memiliki 1 unit MEA sedangkan multi stek memiliki MEA lebih dari 1 unit. Penggunaan MEA pada multistek yang lebih banyak sehingga membutuhkan katalis dan membran elektrolit lebih banyak merupakan salah satu kelemahan dari multi stek PEMFC.

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana sifat elektrokimia dan konduktivitas listrik MEA dengan katalis Pt-Co/C rasio 75:25 pada multi stek PEMFC?
2. Bagaimana kinerja dan ketahanan MEA dengan katalis Pt-Co/C pada multi stek PEMFC?

1.3 Tujuan Penelitian

1. Menentukan nilai ECSA dan konduktivitas listrik MEA dengan katalis Pt-Co/C rasio 75:25 pada multi stek PEMFC.
2. Mengetahui kinerja dan daya tahan MEA dengan katalis Pt-Co/C pada multi stek PEMFC.

1.4 Manfaat Penelitian

Diharapkan dengan dilakukannya penelitian ini dapat memberikan informasi mengenai karakteristik, kinerja dan ketahanan dari MEA multi stek yang menggunakan katalis Pt-Co/C. Serta memberikan alternatif dari penggunaan sebagai katalis tunggal dengan katalis kombinasi antara platina dan kobalt.

DAFTAR PUSTAKA

- An, T., Ge, X., Tham, N., Sumboja, A., Liu, Z. and Zong, Y. 2018. Facile One-pot Synthesis of CoFe Alloy Nanoparticles Decorated N-doped Carbon for High-performance Rechargeable Zinc-air Battery Stack. *ACS Sustainable Chemistry and Engineering*. 6(6): 7743-7751.
- Ahn, H. and Wang, D. 2011. Synthesis and Electrochemical Properties of Porous Pt Wire Electrodes for Methanol Electro-Oxidation. *Solid State Science*. 13(8): 1612-1615.
- Asmahendra, V. (2021). *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 jurusan kimia. Tidak dipublikasikan.
- Berrueta, A., Martin, I., Sanchis, P. and Ursu[´]a, A. 2019. *Lithium-ion Batteries as Distributed Energy Storage Systems for Microgrids Chapter 6*. Distributed Energy Resources in Microgrids: Integration, Challenges and Optimization.
- Bredar, A., Chown, A., Burton, A. and Farnum, B. 2020. Electrochemical Impedance Spectroscopy of Metal Oxide Electrodes for Energy Applications. *ACS Applied Energy Materials*. 3(1): 66-98.
- Cardozo, J., Marx, N., Boulon, L. and Hissel, D. 2015. Comparison of Multi-stack Fuel Cell System Architectures for Residential Power Generation Applications Including Electrical Vehicle Charging. *IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference (VPPC)*.
- Chen, L., Wang Y. and Tao, W. 2020. Experimental Study on The Effect of Temperature and Water Content on The Thermal Conductivity of Gas Diffusion Layers in Proton Exchange Membrane Fuel Cell. *Thermal Science and Engineering Progress*. 100616.
- Chiodelli, G. and Malavasi, L. 2013. Electrochemical Open Circuit Voltage (OCV) Characterization of SOFC Materials. *Ionics*. 19(8): 1135-1144.
- Chourashiya, M., Sharma, R., Gyergyek, S. and Andersen, S. 2022. Gram-size Pt/C Catalyst Synthesized Using Pt Compound Directly Recovered from an End-of-life PEM Fuel Cell Stack. *Materials Chemistry and Physics*. 276: 125439.
- Evrin, R. and Dincer, I. 2019. Thermodynamic Analysis and Assessment of an Integrated Hydrogen Fuel Cell System for Ships. *International Journal of Hydrogen Energy*. 44: 6919-6928.
- Guaitolini, S. and Fardin, J. 2018. Fuel Cells: History (Short Remind), Principles of Operation, Main Features and Applications. *Advances in Renewable Energies and Power Technologies*. 2(1): 123-150.
- Guangzai, N., Yijing, L. and Yin, Y. 2019. Energi Analysis on The Water Cycle Consisting of Photo Catalyzing Water Splitting and Hydrogen Reacting with Oxygen in a Hydrogen Fuel Cell. *Chemical Physics Letter: X*. 4: 100033.

- Gouws, S. 2012. Voltammetric Characterization Methods for the PEM Evaluation of Catalysts. [/dx.doi.org/10.5772/47248](https://doi.org/10.5772/47248).
- Haseli, Y. 2018. Maximum Conversion Efficiency of Hydrogen Fuel Cells. *International Journal of Hydrogen Energy*. 43(18): 9015-9021.
- Kasuma, S. and Ningsih, W. 2013. Studi Cyclic Voltamogram Lapisan Tipis Mn_2O_3 dan $Li-Mn_2O_3$ pada Substrat Kaca dengan Metoda DIP-Coating Melalui Proses Sol-Gel. *Jurnal Saintek*. 7(2): 1-10.
- Ke, Y *et al.* 2021. A Critical Review on Surface-Pattern Engineering of Nafion Membrane for Fuel Cell Applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 145(1): 1-21.
- Kulikovskiy, A. 2019. Fuel Cell Basics. *Analytical Modeling of Fuel Cell*.
- Lestariningsih, T., Sabrina Q. dan Majid, N. 2017. Penambahan TiO_2 dalam Pembuatan Lembaran Polimer Elektrolit Berpengaruh Terhadap Konduktivitas dan Kinerja Baterai Lithium. *Jurnal Material dan Energi Indonesia*. 07(01): 31-37.
- Li, G *et al.* 2015. Carbonation Effects on The Performance of Alkaline Polymer Electrolyte Fuel Cells. *International Journal of Hydrogen Energy*. 40(20): 6655-6660
- Liu, J. and Zio, E. 2018. Prognostics of a Multistack PEMFC System with Multiagent Modeling. *Energi Science and Engineering*. 1-12.
- Maheshwari, K., Sharma, S., Sharma, A. and Verma, S. 2018. Fuel Cell and Its Application: A Review. *International Journal of Engineering Research and Technology*. 7(6): 6-9.
- Mahmud, K. 2013. Fuel Cell and Renewable Hydrogen Energy to Meet Household Energy Demand. *International Journal of Advance Science and Technology*. 54: 97-104.
- Maillard, F., Job, N., and Chatenet, M. 2013. Basics of PEMFC Including The Use of Carbon-Supported Nanoparticles. *New and Future Development in Catalysis*. 401-423.
- Majlan, E., Rohendi, D., Daud W., Husaini, T. and Haque. M. 2018. Electrode for Proton Exchange Membrane Fuel Cell: A Review.. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 89: 117-134.
- Marx, N., Boulon, L., Gustin, F., Hissel, D. and Agbossou, K. 2014. A review of multi-stack and modular fuel cell systems: Interests, application areas and ongoing research activities. *International Journal of Hydrogen Energy*. 1-11.
- Maulana, M., Syahbanu, I. and Harlia. 2017. Sintesis dan Karakterisasi Material Konduktif Film Komposit PoliPirrol (PPy)/ Selulosa Bakteri. *Jurnal Kimia Khatulistiwa*. 6(3): 11-18.

- Muchtar, S. dan Rustana, C. 2020. Studi Pengaruh Jenis Elektroda Terhadap Produksi Gas Hidrogen dengan Proses Elektrolisis Air. *Prosiding Seminar Nasional Fisika (E-Journal) SNF2020*. 9: 5-8.
- Nurlatifah, I. dan Arlianti, L. 2021. Artikel Review: Produksi Gas Hidrogen dari Reaksi Elektrolisis Sebagai bahan Bakar Non-Fosil. *Jurnal Pendidikan dan Aplikasi Industri (UNISTEK)*. 8(1): 30-36.
- Okonkwo, P., Belgacem, I., Emori, W. and Uzoma, P. 2021. Nafion Degradation Mechanisms in Proton Exchange Membrane Fuel Cell (PEMFC) System: A Review. *International Journal of Hydrogen Energy*. 46(55): 27956-27973.
- Postole, G. and Auroux, A. 2011. The Poisoning Level of Pt/C Catalyst used in PEM Fuel Cells by The Hydrogen Feed Gas Impurities: The Bonding Strength. *International Journal of Hydrogen Energy*. 36(11): 6817-6825.
- Rashid, M., Al Mesfer, M., Naseem, H. and Danish, M. 2015. Hydrogen Production by Water Electrolysis: A Review of Alkaline Water Electrolysis, PEM Water Electrolysis and High Temperature Water Electrolysis. *International Journal of Engineering and Advanced Technology*. 4(3): 80-93.
- Rohendi, D., Majlan, E., Mohamad, A., Daud, W., Kadhum, A. and Shuyan, L. 2013. Characterization of Electrodes and Performance Tests on MEAs with Varying Platinum Content and Under Various Operational Conditions. *International Journal of Hydrogen Energy*. 38(1): 9431-9437.
- Rohendi, D., Majlan, E., Mohamad, A., Daud, W., Kadhum A. and Shyuan, L. 2015. Effects of Temperature and Backpressure on The Performance Degradation of MEA in PEMFC. *International Journal of Hydrogen Energy*. 40(34): 10960-10968.
- Rohendi, D., Majlan, E., Mohamad, A., Shyuan, L. and Raharjo J. 2016. Comparison of The Performance of Proton Exchange Membrane Fuel Cell (PEMFC) Electrodes with Different Carbon Powder Content and Methods of Manufacture. *Indonesian Journal of Fundamental and Applied Chemistry*. 1(3): 61-66.
- Rohendi, D. and Yulinar, A. 2010. Pembuatan Elektroda Fuel Cell dengan Metode Elektrodeposisi Menggunakan Katalis Pt-Cr/C dan Pt/C dan Karakterisasinya. *Jurnal Penelitian Sains*. 13(2): 28-32.
- Saputry, A., Lestariningsih, T. and Astuti Y. 2019. Pengaruh Rasio LiBOB:TiO₂ dari Lembaran Polimer Elektrolit sebagai Pemisah terhadap Kinerja Elektrokimia Baterai Lithium-Ion Berbasis LTO. *Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi*. 22(4): 136-142.
- Sharaf, S. 2020. *Smart Conductive Textile Advances in Functional and Protective Textiles*. LTD. doi: 10.1016/B978-0-12-820257-9.00007-2.
- Singh, S. and Datta, J. 2021. Influence of Nafion Template on The Kinetics of anodic Pt Based Pluri-Metallic Catalyst for Ethanol Electro-Oxidation. *Journal of Electroanalytical Chemistry*. 882(2021): 1-15.

- Su, H., Zeng, Q., Liao, S. and Wu, Y. 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(1): 10430-10436.
- Tsotridis, G., Pilenga, A., Marco, G. and Malkow, T. EU harmonised test protocols for PEMFC MEA testing in single cell configuration for automotive applications. *EUR, Scientific and Technical Research Series*. 27632(1): 1-59.
- Trongchuankij, W., Pruksathorn, K. and Hunsom, M. 2011. Preparation of a High Performance Pt-Co/C Electrocatalyst for Oxygen Reduction in PEM Fuel Cell Via a Combined Process of Impregnation and Seeding. *Applied Energy*. 88(3): 974-980.
- Wafiroh, S., Suyanto, S. dan Yuliana, Y. 2016. Pembuatan dan Karakterisasi Membran Komposit Kitosan-Sodium Alginat Terfosforilasi sebagai Proton Exchange Membrane Fuel Cell (PEMFC). *Journal Kimia Riset*. 1(1):14-21.
- Winkler, W. and Williams M., C. 2018. Basics for Fuel Cell Performance Loss Evaluation. *ECS Transactions*. 83(1): 53.
- Woo, S., Kim, I., Lee, K., Bong, S., Lee, J. and Kim, H. 2011. Preparation of Cost-effective Pt-Co Electrodes by Pulse Electrodeposition for PEMFC Electrocatalysts. *Electrochimica Acta*. 56(8): 3036-3041.
- Yulianti, D., Rohendi, D., Syarif, N. and Rachmat, A. 2020. Characterization of Electrode with Various of Pt-Ru/C Catalyst Loading and The Performance Test of Membrane Electrode Assembly (MEA) in Passive Direct Methanol Fuel Cell. *Key Engineering Materials*. 840(1): 558-565.
- Zhu, D., Yang, Y. and Ma, T. 2022. Evaluation The Resistance Growth of Aged Vehicular Proton Exchange Membrane Fuel Cell Stack by Distribution of Relaxation Times. *Sustainability*. 4(9): 1-19.
- Zahara, A. (2022). *Pembuatan dan karakterisasi elektroda dengan katalis Pt-Co/C Serta Uji Kinerja Membrane Electrode Assembly pada proton exchange membrane fuel cell (PEMFC)*. Skripsi Jurusan Kimia FMIPA Universitas Sriwijaya. Tidak dipublikasikan.
- Zakaria, Z. and Shaari, N. 2018. Preliminary Study of Alkaline Direct Ethanol Fuel Cell by Using Crosslinked Quaternized Poly (Vynil Alcohol)/Graphene Oxide Membrane. *Jurnal Kejuruteraan*. 30(2): 219-227.