

ELEKTROLISIS AIR MENGGUNAKAN *MEMBRANE ELECTRODE ASSEMBLY* (MEA) DENGAN KATALIS TiO₂/C PADA ARUS DAN PEMUATAN KATALIS BERVARIASI

SKRIPSI

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



Oleh :

IGAM AINI UTAMI

08031281823100

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

2022

HALAMAN PENGESAHAN

ELEKTROLISIS AIR MENGGUNAKAN *MEMBRANE ELECTRODE ASSEMBLY* (MEA) DENGAN KATALIS TiO_2/C PADA ARUS DAN PEMUATAN KATALIS BERVARIASI

SKRIPSI

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

Oleh :

Igam Aini Utami

08031281823100

Indralaya, 25 Februari 2022

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II



Dr. Dedi Rohendi, M.T
NIP. 196704191993031001

Dr. Heni Yohandini, M.Si
NIP. 197011152000122004

Mengetahui,
Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



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

HALAMAN PERSETUJUAN

Makalah Seminar Hasil Igam Aini Utami / 08031281823100 dengan judul “Elektrolisis Air Menggunakan *Membrane Electrode Assembly* (MEA) Dengan Katalis TiO_2/C Pada Arus Dan Pemuatan Katalis Bervariasi” telah diseminarkan dihadapan Tim Penguji Seminar Hasil Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Sriwijaya pada tanggal 08 Februari 2022 dan telah diperbaiki, diperiksa serta disetujui sesuai masukan yang diberikan.

Indralaya, 25 Februari 2022

Pembimbing :

1. **Dr. Dedi Rohendi, M.T.**
NIP. 196704191993031001
2. **Dr. Heni Yohandini, M.Si.**
NIP. 197307261999032001

()

()

Penguji :

1. **Dr. Bambang Yudono, M.Sc.**
NIP. 196102071989031004
2. **Fahma Riyanti, M.Si.**
NIP. 197202052000032001

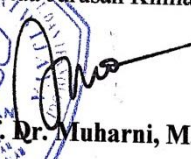
()

()

Mengetahui,

Dekan FMIPA

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 dibawah ini :

Nama mahasiswa : Igam Aini Utami
NIM : 08031281823100
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, 25 Maret 2022
Yang menyatakan,

Igam Aini Utami
NIM. 08031281823100



HALAMAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH

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

Nama Mahasiswa : Igam Aini Utami

NIM : 08031281823100

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: “Elektrolisis Air Menggunakan *Membrane Electrode Assembly* (MEA) Dengan Katalis TiO_2/C Pada Arus Dan Pemuatan Katalis Bervariasi”. 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, 25 Maret 2022

Yang menyatakan,



Igam Aini Utami

NIM. 08031281823100

HALAMAN PERSEMBAHAN

Skripsi ini saya persembahkan sebagai rasa syukurku kepada
ALLAH SWT dan Nabi Muhammad SAW

“Do not grieve, indeed ALLAH is with us ”

Q.S. At-Taubah 9:40

*“Siapa yang menempuh jalan untuk mencari ilmu,
maka Allah akan mudahkan baginya jalan menuju surga”*

H.R. Muslim

*“Terbanglah tinggi, Terbanglah jauh,
hentakkan bumi dengan prestasi dan kreasi,
jangan dulu mati sebelum berarti”*

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT, karena atas rahmat dan hidayah-Nya lah penulis dapat menyusun dan menyelesaikan penelitian dan penulisan skripsi yang berjudul “Elektrolisis Air Menggunakan *Membrane Electrode Assembly* (MEA) Dengan Katalis TiO_2/C Pada Arus Dan Pemuatan Katalis Bervariasi” shalawat serta salam selalu tercurah kepada nabi agung nabi Muhammad SAW yang telah membawa kita dari zaman Zahiliyah ke zaman yang berilmu seperti saat ini.

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

Selain itu, penulis juga mengucapkan terima kasih kepada:

1. Allah SWT dan nabi besar Muhammad SAW, atas segala rahmat dan ridho-Nya penulis dapat menyelesaikan penelitian dan penulisan skripsi dengan lancar tanpa kendala.
2. Kepada kedua orang tua tercinta Mama dan Bapak yang selalu mendoakan, memberikan dukungan dan bantuan dalam segala hal serta kepada ketiga saudaraku (Indri, Ulya dan Alya) yang selalu mendoakan, memberi dukungan serta semangat. Mereka adalah alasan penulis untuk tetap bertahan dan semangat dalam kondisi apapun.
3. Bapak Prof. Hermansyah, Ph.D selaku Dekan FMIPA Universitas Sriwijaya.
4. Ibu Prof. Dr. Muharni, M.Si. selaku Ketua Jurusan Kimia FMIPA Universitas Sriwijaya.
5. Bapak Dr. Addy Rachmat, M.Si. selaku sekretaris Jurusan Kimia FMIPA Universitas Sriwijaya.
6. Ibu Dr. Heni Yohandini, M.Si. selaku dosen Pembimbing Akademik.

7. Ibu Fahma Riyanti, M.Si. dan Bapak Dr. Bambang Yudono, M.Sc. selaku pembahas dan penguji sidang sarjana yang telah membimbing dan membantu menyelesaikan skripsi ini.
8. Seluruh Dosen FMIPA Kimia Universitas Sriwijaya yang telah memberikan ilmu, mendidik dan membimbing selama masa kuliah.
9. Mbak Novi dan Kak Chosiin selaku Admin Jurusan Kimia yang banyak membantu dalam proses perkuliahan hingga tugas akhir.
10. Keluarga besar tercinta, saudara dan orang-orang terdekatku terima kasih karena kalian telah mendoakan serta memberi dukungan dan bantuan dalam segala hal baik dari segi materi ataupun non materi.
11. Kakak Mentor PUR (Kak Icha, Kak Dwi, dan Kak Reka) terima kasih atas segala bentuk bantuan dan ilmu yang telah diberikan, untuk Kak Icha terima kasih atas ilmu dan bantuan, saran dan masukannya selama ini. Semoga sukses dan bahagia selalu untuk kakak-kakak semua.
12. Kepada teman-teman perjuangan perkuliahanku (Fatma, dll) terima kasih atas seluruh bantuan yang telah diberikan dan terima kasih telah memberi warna dan kesan tersendiri dalam dunia perkuliahan ini. Sukses dan bahagia selalu untuk teman-teman semua.
13. Teman-teman angkatan 2018 dengan berbagai macam karakter yang telah memberikan warna dan kesan selama proses perkuliahan.
14. Teman-teman HOLA (Sukma, Ariqah, Mia, Nanda, Aza, dll) yang telah memberi bantuan, dukungan yang mewarnai dunia kuliahku.
15. Teman yang menemani transportasi penulis selama kuliah baik saat PP layo-palembang (Ade, Anita, dll) ataupun selama penelitian ke PUR (Sandi, dll)
16. Teman-teman PUR (Cici, Fatma, Sandi, Ade, Ilyas, Delima, Sabrina, Marya, Anin, Devi, dll) yang telah memberi bantuan selama proses penelitian dan TA.
17. Kepada aplikasi GOJEK yang telah memberikan promo goride maupun gofood yang telah mempermudah dan menaikkan mood penulis.
18. Semua pihak yang telah memberikan bantuan, dukungan dalam bentuk apapun yang tidak dapat disebutkan satu per satu, sekecil apapun bantuan dan dukungan dari semua pihak sangat berarti bagi penulis.

SUMMARY

WATER ELECTROLYSIS USING MEMBRANE ELECTRODE ASSEMBLY (MEA) WITH TiO₂/C CATALYST IN VARIED CURRENT AND CATALYST LOADING

Igam Aini Utami : Supervised by Dr. Dedi Rohendi, M.T. and;

Dr. Heni Yohandini, M.Si

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

ix+ 62 pages, 5 tables, 12 pictures, 6 appendix

Hydrogen receives a great attention as one of the eco-friendly alternative energy because it can result in clean energy and water as its emission. Hydrogen cannot be found freely in earth. Therefore, there is still a need to find a method to produce hydrogen, such as electrolysis method. Research about water electrolysis using *Membrane Electrode Assembly* (MEA) with TiO₂/C catalyst in varied current and catalyst loading has been done. This research was done by using TiO₂/C catalyst with varied catalyst loading. Catalyst is distributed on the surface of *Gas Diffusion Layer* (GDL) so it will result in electrode. Electrode is characterized by *Cyclic Voltammetry* (CV) and *Electrode Impedance Spectroscopy* (EIS). The characterization of electrode using this CV method showed that the biggest value of Electrochemical Surface Area (ECSA) was shown by TiO₂/C electrode in 2.5 mg/cm² loading, which was 252.95 cm²/g and the biggest value of electrical conductivity was shown by TiO₂/C electrode in 2.5 mg/cm² loading, 27.06 S/cm. The best hydrogen producing rate was shown in MEA with TiO₂/C electrode in 2.5 mg/cm² loading with the optimum condition at 3A current, 2.778 mL/s and the slowest hydrogen producing rate was shown in MEA TiO₂/C electrode in 1 mg/cm² loading with the optimum condition at 0.5 A current, 1.356 mL/s. Current and catalyst charge influences the rate of producing hydrogen. The rate increases along with the increase of current used and catalyst loading used in electrode.

Keyword : Production of Hydrogen, Electrolysis, TiO₂/C, Catalyst Loading, Current, Cyclic Voltammetry, Electrode Impedance Spectroscopy.

Citation : 78 (2008-2021)

RINGKASAN

ELEKTROLISIS AIR MENGGUNAKAN *MEMBRANE ELECTRODE ASSEMBLY* (MEA) DENGAN KATALIS TiO₂/C PADA ARUS DAN PEMUATAN KATALIS BERVARIASI

Igam Aini Utami : Dibimbing oleh Dr. Dedi Rohendi, M.T dan

Dr. Heni Yohandini, M.Si.

Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Sriwijaya ix+ 62 halaman, 5 tabel, 12 gambar, 6 lampiran

Hidrogen menjadi perhatian besar sebagai salah satu bentuk energi alternatif yang ramah lingkungan karena menghasilkan pasokan energi yang bersih dan air sebagai emisinya. Hidrogen yang terdapat dipermukaan bumi tidak ditemukan dalam unsur murni sehingga diperlukan metode untuk produksi hidrogen salah satunya metode elektrolisis. Penelitian mengenai elektrolisis air menggunakan *Membrane Electrode Assembly* (MEA) dengan menggunakan katalis TiO₂/C pada arus dan pemuatan katalis bervariasi telah dilakukan. Penelitian ini menggunakan katalis TiO₂/C dengan berbagai variasi pemuatan katalis. Katalis didistribusikan pada permukaan *Gas Diffusion Layer* (GDL) sehingga dihasilkan elektroda. Elektroda dikarakterisasi dengan menggunakan metode *Cyclic Voltammetry* (CV) dan *Electrode Impedance Spectroscopy* (EIS). Karakterisasi elektroda menggunakan metode CV menunjukkan nilai *Electrochemical Surface Area* (ECSA) terbesar ditunjukkan oleh elektroda TiO₂/C pada loading 2,5 mg/cm² sebesar 252,95 cm²/g dan nilai konduktivitas elektrik terbesar terdapat pada elektroda TiO₂/C pada loading 2,5 mg/cm² sebesar 27,06 S/cm. Laju produksi hidrogen terbaik dihasilkan pada MEA dengan elektroda TiO₂/C pada loading 2,5 mg/cm² yang beroperasi optimum pada arus 3A sebesar 2,778 mL/s dan laju produksi hidrogen terkecil pada MEA dengan elektroda TiO₂/C pada loading 1 mg/cm² yang beroperasi pada arus 0,5A sebesar 1,356 mL/s. Arus dan pemuatan katalis mempengaruhi laju produksi hidrogen. Laju produksi hidrogen meningkat dengan meningkatnya arus listrik yang digunakan dan pemuatan katalis yang digunakan pada elektroda.

Kata kunci : Produksi Hidrogen, Elektrolisis, TiO₂/C, Pemuatan Katalis, Arus, *Cyclic Voltammetry*, *Electrode Impedance Spectroscopy*.

Sitasi : 78 (2008-2021)

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
HALAMAN PERSETUJUAN	ii
PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH.....	iii
HALAMAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH	v
HALAMAN PERSEMBAHAN	vi
KATA PENGANTAR.....	vii
SUMMARY	ix
RINGKASAN	x
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xiv
DAFTAR TABEL	xv
DAFTAR LAMPIRAN	xvi
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.....	5
2.1 Hidrogen	5
2.2 <i>Proton Exchange Membrane fuel cell</i> (PEMFC).....	5
2.3 Elektrolisis	7
2.3.1 Elektrolisis Air	7
2.3.1.1 Elektrolisis Larutan Alkali	8

2.3.1.2	Elektrolisis Air dengan Oksida Padat	9
2.3.1.3	Elektrolisis Air dengan Proton Exchange Membrane (PEM).....	10
2.3.2	Komponen penyusun <i>Proton Exchange Membrane</i> (PEM)	11
2.3.2.1	<i>Membrane Electrode Assembly</i> (MEA)	12
2.3.2.2	Plat bipolar	12
2.3.2.3	<i>Gas Diffusion Layer</i> (GDL)	13
2.3.2.4	Lapisan Katalis	13
2.3.2.5	Membran Elektrolit Padat	14
2.4	Karakterisasi katalis	14
2.4.1	Katalis	14
2.4.1.1	Titanium Dioksida (TiO ₂)	15
2.4.1.2	Karbon (C).....	15
2.4.2	<i>Cyclic Voltammetry</i> (CV).....	16
2.4.3	<i>Electrochemical Impedance Spectroscopy</i> (EIS)	16
BAB III METODOLOGI PENELITIAN		19
3.1	Waktu dan Tempat.....	19
3.2	Alat dan Bahan.....	19
3.3	Prosedur Penelitian	19
3.3.1	Pembuatan Gas Diffusion Layer (GDL)	19
3.3.2	Preparasi katalis TiO ₂ /C	19
3.3.3	Pembuatan Elektroda TiO ₂ /C	19
3.3.4	Pengujian Sifat Elektrokimia Elektroda Menggunakan Metode <i>Cyclic Voltametry</i> (CV).....	20

3.3.5 Pengujian Nilai Konduktivitas Elektrik Elektroda Menggunakan Metode <i>Electrochemical Impedance Spectroscopy</i> (EIS)	20
3.3.6 Pembuatan MEA (<i>Membrane Electrode Assembly</i>).....	20
3.3.7 Produksi Hidrogen.....	21
3.3.7.1 Produksi Hidrogen Pada Arus Bervariasi.....	21
3.3.7.2 Produksi Hidrogen Pada Pemuatan Katalis Bervariasi	21
3.4 Analisis Data.....	22
3.4.1 Analisis Laju Produksi Hidrogen	22
3.4.2 Analisis Pengujian Sifat Elektrokimia Elektroda.....	22
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	26
4.1 Pembuatan Elektroda dan MEA	26
4.2 Karakterisasi Elektroda dengan Metode <i>Cyclic Voltammetry</i> (CV)	25
4.3 Karakterisasi Elektroda dengan Metode <i>Electrochemical Impedance Spectroscopy</i> (EIS).....	28
4.4 Pengukuran Laju Produksi Hidrogen.....	30
4.4.1 Variasi Arus.....	30
4.4.2 Variasi Loading	31
BAB V . KESIMPULAN DAN SARAN	33
5.1 Kesimpulan	33
5.2 Saran	33
DAFTAR PUSTAKA	34
LAMPIRAN.....	44

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 1. Skema susunan <i>Proton Exchange Membrane fuel cell</i> (PEMFC) .	6
Gambar 2. Skema kerja elektrolisis Larutan Alkali	9
Gambar 3. Skema kerja elektrolisis Air dengan Oksida Padat	9
Gambar 4. Skema kerja PEM elektrolisis	10
Gambar 5. Komponen PEM Water Elektrolisis	11
Gambar 6. MEA TiO ₂	25
Gambar 7. Kurva Voltamogram elektroda TiO ₂ /C	26
Gambar 8. Grafik hubungan antara loading katalis dengan Nilai ECSA.....	27
Gambar 9. Gambar kurva <i>nyquist</i> Elektroda TiO ₂ /C	28
Gambar 10. Grafik pengaruh loading katalis terhadap nilai Konduktivitas.....	29
Gambar 11. Laju produksi hidrogen dengan arus bervariasi	30
Gambar 12. Laju produksi hidrogen dengan pemuatan katalis bervariasi	32

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 1. Sifat – sifat Hidrogen	5
Tabel 2. Perhitungan Kandungan Komponen pada Elektroda	19
Tabel 3. Data Hasil <i>Fitting</i> Kurva <i>Nyquist</i>	23
Tabel 4. ECSA elektroda TiO ₂ /C dengan pemuatan katalis bervariasi.....	27
Tabel 5. Data hasil <i>fitting</i> kurva <i>Nyquist</i> dan nilai Konduktivitas	29

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran 1. Skema Kerja PEM Elektrolisis Air.....	45
Lampiran 2. Perhitungan Kandungan Komponen Katalis	46
Lampiran 3. Perhitungan Nilai ECSA Karakterisasi <i>Cyclic Voltammetry</i> (CV) ..	49
Lampiran 4. Perhitungan Nilai Konduktivitas <i>Impedance Spectroscopy</i> (EIS)	55
Lampiran 5. Tabel dan Hasil Perhitungan Laju Produksi Hidrogen	57
Lampiran 6. Gambar Alat dan Bahan Penelitian	64

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar belakang

Sumber energi yang berasal dari bahan bakar energi fosil masih menjadi pilihan masyarakat dunia. Sumber energi berbahan bakar fosil ini semakin menipis ketersediaannya di dunia sehingga dapat menyebabkan krisis energi (Novianti dkk, 2016). Selain itu penggunaan energi fosil termasuk salah satu faktor penyebab terjadinya pemanasan global karena akibat terjadinya suatu pembakaran bahan bakar energi fosil yang tidak sempurna sehingga akan menghasilkan gas CO dan CO₂ (Wahyono *et al.*, 2017). Untuk mengatasi permasalahan tersebut dibutuhkan energi alternatif yang terbarukan dan ramah lingkungan. Hidrogen menjadi perhatian besar sebagai salah satu bentuk energi alternatif di dunia dan ramah lingkungan karena menghasilkan pasokan energi yang sangat bersih berupa uap air sebagai emisinya (Herlambang & Roihatin, 2019). Akan tetapi perlu dikembangkan metode yang efisien dan murah dalam penyimpanan hidrogen agar penggunaan hidrogen sebagai bahan bakar bisa digunakan secara komersil (Sun *et al.*, 2018).

Hidrogen yang terdapat di permukaan bumi ini menduduki posisi ketiga dengan kelimpahan terbanyak, akan tetapi hidrogen tersebut tidak ditemukan dalam wujud unsur hidrogen murni melainkan ditemukan dalam wujud senyawa misalnya dalam wujud senyawa air dan senyawa organik. Oleh karena itu diperlukan metode untuk produksi hidrogen yang prinsip dasarnya adalah pemisahan hidrogen dari senyawanya (Huda, 2013). Elektrolisis adalah salah satu metode produksi hidrogen murni yang banyak digunakan (Muthaharusaidun *et al.*, 2019). Proses elektrolisis air akan mengkonversi air menjadi hidrogen dan oksigen (Carmo *et al.*, 2013).

Elektrolisis air dengan *Proton Exchange Membrane* (PEM) merupakan suatu metode produksi hidrogen dengan suhu rendah yang menjanjikan untuk dikembangkan (Sun *et al.*, 2018). PEM lebih menjanjikan untuk dikembangkan karena memiliki permeabilitas atau kemampuan relatif senyawa melewati membran yang baik sehingga produksi hidrogen yang dihasilkan meningkat, elektrolisis dengan PEM lebih ramah lingkungan dibandingkan dengan elektrolisis

alkali yang menghasilkan pH yang basa, memiliki efisiensi yang tinggi, dan memiliki desain yang kompak. Keunggulan-keunggulan tersebut membuat elektrolisis dengan PEM menjanjikan untuk dikembangkan (Chi & Yu, 2018). PEM tersusun dari membran elektrolit padat, *gas diffusion layer* (GDL), plat bipolar dan dua elektroda berupa anoda dan katoda dengan elektrokatalis (Rashid *et al.*, 2015). Membran elektrolit dihimpit oleh anoda dan katoda yang di kedua sisinya telah disemprotkan katalis (Pratama *et al.*, 2018). Katalis mempengaruhi laju produksi hidrogen oleh karena itu digunakan katalis dalam proses elektrolisis dengan menggunakan metode PEM elektrolisis.

Pada penelitian ini digunakan katalis TiO_2 dalam pembuatan *membrane electrode assembly* (MEA). Katalis TiO_2 bersifat inert, tahan terhadap suhu yang tinggi, memiliki stabilitas termal yang baik serta tidak bersifat racun (Septiani *et al.*, 2015). Ketersediaan TiO_2 di alam melimpah dan memiliki harga yang relatif terjangkau. Selain itu fotokatalis TiO_2 memiliki keunggulan pada aplikasi produksi hidrogen dimana TiO_2 memenuhi persyaratan khusus untuk *water-splitting* yaitu pada posisi pita valensi dan konduksi tertentu agar dapat terjadi pembentukan oksigen dan hidrogen dari konversi air (Kustiningsih *et al.*, 2010)

Pada penelitian ini untuk mengetahui kinerja katalis yang digunakan dapat dilihat dengan melakukan pengukuran karakterisasi metode *Cyclic Voltammetry* (CV) dan *Electrochemical Impedance Spectroscopy* (EIS). Hal penting untuk menentukan aktifitas elektrokatalitik suatu material katalis adalah dengan mengetahui nilai *Electrochemical Surface Area* (ECSA), Nilai ECSA memperlihatkan seberapa banyak luas permukaan material yang aktif yang bereaksi dalam elektrolit pada katalis yang diukur. Nilai ECSA dari katalis dapat diketahui dengan pengukuran CV (Nuriana *et al.*, 2017). Pengukuran dengan metode EIS bertujuan untuk melihat interaksi elektron yang bergerak dan berpindah pada komponen sel saat reaksi elektrokimia berlangsung (Lestariningsih *et al.*, 2017).

1.2 Rumusan masalah

1. Bagaimana karakteristik katalis TiO_2/C untuk elektrolisis air menggunakan *membrane electrode assembly* (MEA)?

2. Bagaimana pengaruh arus dan pemuatan katalis bervariasi terhadap laju produksi hidrogen pada elektrolisis air dengan menggunakan *membrane electrode assembly* (MEA)?

1.3 Tujuan penelitian

1. Penelitian ini bertujuan untuk melakukan pembuatan dan karakterisasi elektroda dengan katalis TiO_2/C yang meliputi perhitungan luas permukaan katalitik dengan menggunakan data *Cyclic Voltammetry* (CV) dan menghitung nilai konduktivitas elektrik menggunakan data *Electrochemical Impedance Spectroscopy* (EIS).
2. Menentukan laju produksi hidrogen yang dihasilkan pada saat pengukuran menggunakan katalis TiO_2/C pada arus dan pemuatan katalis bervariasi.

1.4 Manfaat penelitian

Penelitian yang dilakukan ini diharapkan bermanfaat untuk memberikan kontribusi berupa energi alternatif seperti hidrogen sebagai energi *carrier* melalui metode elektrolisis dengan menggunakan katalis TiO_2 .

DAFTAR PUSTAKA

- Ajiriyanto, M. K., Kriswarini, R., Yanlinastuti, Y., & Lestari, D. E. (2018). Analisis korosi pipa pendingin sekunder RSG - GAS dengan teknik electrochemical impedance spectroscopy (EIS). *Urania Jurnal Ilmiah Daur Bahan Bakar Nuklir*, 24(2), 105–114.
- Ali, S., Ahmed, R., & Ansari, M. S. (2013). Evaluation of Stability and Catalytic Activity Of direct Methanol Fuel Cell nano-catalysts by Cyclic Voltammetry. *NUST Journal of Engineering Sciences (NJES)*, 6(1), 21–26.
- Bagheri, S., Muhd Julkapli, N., & Bee Abd Hamid, S. (2014). Titanium dioxide as a catalyst support in heterogeneous catalysis. *Scientific World Journal*, 2014.
- Bakti, A. P., Gandis, L. G., & Sitanggang, R. (2020). *Performa PEM Elektrolizer dengan Hotpress*. 14–15.
- Baroutaji, A., Carton, J. G., Sajjia, M., Ramadan, M., & Olabi, A.-G. (2015). Materials in PEM Fuel Cells. *Encyclopedia of Smart Materials*, 256–266.
- Becherif, M., Ramadan, H. S., Cabaret, K., Picard, F., Simoncini, N., & Bethoux, O. (2015). Hydrogen Energy Storage: New Techno-Economic Emergence Solution Analysis. *Energy Procedia*, 74(0), 371–380.
- Bhosale, A. C., Ghosh, P. C., & Assaud, L. (2020). Preparation methods of membrane electrode assemblies for proton exchange membrane fuel cells and unitized regenerative fuel cells: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 133(February), 110286.
- Carcadea, E., Varlam, M., Ion-Ebrasu, D., & Al., E. (2017). *Pem Electrolyzer – an Important Component of a Backup Emergency Hydrogen-Based Power Source*. 20(2), 57–66.
- Carmo, M., Fritz, D. L., Mergel, J., & Stolten, D. (2013). A comprehensive

review on PEM water electrolysis. *International Journal of Hydrogen Energy*, 38(12), 4901–4934.

- Chauhan, N. S., & Singh, V. K. (2015). *Fundamentals and use of hydrogen as a fuel*. 6(1), 63–68.
- Chi, J., & Yu, H. (2018). Water electrolysis based on renewable energy for hydrogen production. *Cuihua Xuebao/Chinese Journal of Catalysis*, 39(3), 390–394.
- Chidziva, S., Malinowski, M., Bladergroen, B., Pasupathi, S., & Lototskiy, M. (2020). PEM electrolysis system performance and system safety integration. *Przeglad Elektrotechniczny*, 96(12), 3–10.
- Choi, W., Shin, H. C., Kim, J. M., Choi, J. Y., & Yoon, W. S. (2020). Modeling and applications of electrochemical impedance spectroscopy (Eis) for lithium-ion batteries. *Journal of Electrochemical Science and Technology*, 11(1), 1–13.
- Choirotin, I., & Basjir, M. (2019). Analisis Desain Cetakan Sederhana Bipolar Plate Pada Proses Pembentukan Superplastis. *FLYWHEEL : Jurnal Teknik Mesin Untirta*, V(1), 20.
- Choudhary, Y. S., Jothi, L., & Nageswaran, G. (2017). Electrochemical Characterization. In *Spectroscopic Methods for Nanomaterials Characterization* (Vol. 2). Elsevier Inc.
- Destyorini, F., Irmawati, Y., Widodo, H., Khaerudini, D. S., & Indayaningsih, N. (2018). Properties and performance of gas diffusion layer PEMFC derived from coconut coir. *Journal of Engineering and Technological Sciences*, 50(3).
- Devrim, Y. (2014). Preparation and testing of Nafion/titanium dioxide nanocomposite membrane electrode assembly by ultrasonic coating technique. *Journal of Applied Polymer Science*, 131(15), 1–10.
- Duan, Q., Wang, H., & Benziger, J. (2012). Transport of liquid water through Nafion membranes. *Journal of Membrane Science*, 392–393, 88–94.
- Elgrishi, N., Rountree, K. J., McCarthy, B. D., Rountree, E. S., Eisenhart, T. T., & Dempsey, J. L. (2018). A Practical Beginner's Guide to Cyclic Voltammetry. *Journal of Chemical Education*, 95(2), 197–206.

- Fahreza, D., Kurniawati, D., & Subeki, N. (2018). Analisis Produksi Gas Hidrogen Dan Gas Oksigen Dalam proses Elektrolisis. *Sentra*, 2017, 50–54.
- Fazlunnazar, M., Hakim, L., Meriatna, Sulhatun, Aminullah, M. M., Kimia, J. T., Teknik, F., Malikussaleh, U., & Sedangkan, C. (2020). *Jurnal Teknologi Kimia Unimal*. 1(mei), 58–66.
- Fuel, M., Dalam, C., Biolistrik, M., Limbah, D., Ibrahim, B., Soleh, A. M., B, C. I., & Am, S. (2020). *KINERJA MEMBRAN KOMPOSIT KITOSAN-KARAGENAN PADA SISTEM Fuel Cell System in Producing Bioelectricity from Boiled Fish Wastewater Peningkatan konsumsi energi listrik dapat menyebabkan krisis energi yang diakibatkan oleh kelangkaan bahan bakar pembangkit lis*. 23, 137–146.
- Gallandat, N., Romanowicz, K., & Züttel, A. (2017). An Analytical Model for the Electrolyser Performance Derived from Materials Parameters. *Journal of Power and Energy Engineering*, 05(10), 34–49.
- Ghadafi, M., & Sanjaya, I. G. M. (2016). *Kajian Teoritis QM / MM MD Pengaruh Larutan NaCl pada Transpor Proton Nafion dalam Direct Methanol Fuel Cell (DMFC)*. May 2020, 94–108.
- Gradiniar, A., & Ardhyananta, H. (2013). Pengaruh Penambahan Karbon terhadap Sifat Mekanik dan Konduktivitas Listrik Komposit Karbon / Epoksi sebagai Pelat Bipolar Polimer Elektrolit Membran Sel Bahan Bakar (Polymer Exchange Membran (PEMFC)). *Jurnal Teknik Pomits*, 2(1), 0–4.
- Hasanah, U., & Muslimin, M. (2020). Pengaruh Tekanan Compression Moulding terhadap Kinerja Pelat Bipolar Komposit Grafit/Resin Epoksi Komposisi 20% Karbon Tempurung Kelapa. *Jurnal Mekanik Terapan*, 1(1), 71–80.
- Herlambang, Y. D., & Roihatin, A. (2019). Teknologi Pembangkit Listrik Energi Baru Terbarukan Menggunakan Proton Exchange Membrane (PEM) Fuel Cell Skala Kecil. *Eksergi*, 15(1), 27.
- Huda, N. (2013). Penentuan Kapasitas Produksi Hidrogen dari Perengkahan Air Berdsarkan Distribusi Kalor RGTT-Kogerasi. *Jurnal Sigma Epsilon*, 17(2), 54–61.
- Indayaningsih, N., Zulfia, A., Priadi, D., & Kartini, E. (2012). *Synthesis of Empty Fruit Bunches Carbon Polymer Composites As Gas Diffusion Layer for*

Electrode Materials. April.

- Irtas, D., Bow, Y., & Rusdianasari. (2021). The Effect of Electric Current on the Production of Brown's Gas using Hydrogen Fuel Generator with Seawater Electrolytes. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 709(1).
- Jasmine, S., & Rustana, C. E. (2020). Produksi Gas Hidrogen Dengan Proses Elektrolisis Air. *Prosiding Seminar Nasional Fisika (E-Journal) SNF2020*, IX, 5–8.
- Khalafi, L. (2014). Cyclic Voltammetry. In *Springer Series in Materials Science* (Vol. 196, Issue Cv).
- Kunowsky, M. (2013). *Material Demands for Storage Technologies in. March.*
- Kustiningsih, I., Platina, D., Mareta, H., Mustofa, D., Purwanto, W., Kimia, D. T., Air, D., Metode, D., & Pengaruh, F. (2010). *Dengan Metode Fotokatalisis*. 14(1), 11–16.
- Kusworo, T. D., Dewi, E. L., Arti, D. K., Dhuhita, A., Ismail, A. F., MohdNorddin, M. N. A., & Budiyo. (2013). Preparation of poly eter eter keton as alternative membrane for direct methanol fuel cell (DMFC). *Middle East Journal of Scientific Research*, 18(9), 1240–1252.
- Kwasi-Effah, C. C., Obonor, A. I., & Aisien, F. A. (2015). A Review on Electrolytic Method of Hydrogen Production from Water. *American Journal of Renewable and Sustainable Energy*, 1(2), 51–57.
- Lázaro, M. J., Ascaso, S., Pérez-Rodríguez, S., Calderón, J. C., Gálvez, M. E., Nieto, M. J., Moliner, R., Boyano, A., Sebastián, D., Alegre, C., Calvillo, L., & Celorrio, V. (2015). Carbon-based catalysts: Synthesis and applications. *Comptes Rendus Chimie*, 18(11), 1229–1241.
- Leary, R., & Westwood, A. (2011). Carbonaceous nanomaterials for the enhancement of TiO2 photocatalysis. *Carbon*, 49(3), 741–772.
- Lestariningsih, T., Sabina, Q., & Majid, N. (2017). Pusat Penelitian LIPI, Kawasan PUSPITEK Serpong Gd. 440-442 Tangerang Selatan. *Jurnal Material Dan Energi Indonesia*, 07(01), 31–37.
- Leu, J. H., Su, A., Sun, J. K., & Huang, Z. M. (2020). The catalyst loading effects on the feed rate of NaBH₄ solution for the hydrogen production rate and

- conversion efficiency. *Catalysts*, *10*(4).
- Ma'aruf, H. M., & Widiharsa, F. A. (2016). Fuel Cell sebagai Sumber Energi Listrik Alternatif Pengisi. *Jurnal Teknik Mesin*, *12*(1), 45–54.
- 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.
- Marlina, E. (2013). KARAKTERISTIK BROWN'S GAS HASIL ELEKTROLISIS H₂O DENGAN MENGGUNAKAN NAHCO₃. *2*(2), 44–47.
- Marlina, E. (2016). Pengaruh Variasi Larutan Elektrolit Terhadap Produksi Brown's Gas. *Jurnal Teknik Mesin Universitas Islam Malang*, *17*(2), 10.
- 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. (2012). Studi Voltametri Siklik Sodium Dedocyl Benzen Sulfonat Dalam Berbagai Elektroda Dan Elektrolit Pendukung. *Jurnal Teknologi Pengelolaan Limbah*, *15*(1), 51–56.
- Muthaharussayidun, Anis, S., & Widya, A. (2019). Uji Produksi Gas Hidrogen Melalui Elektrolisis Plasma Air Laut dengan Katalis KOH dan Zat Aditif Metanol. *Jurnal Inovasi Mesin*, *1*(1), 10–16.
- Novianti, A. R. (2016). Struktur Dan Morfologi Elektrolit Apatit Lantanum Silikat Berbahan Dasar Silika Sekam Padi. *Jurnal Material Dan Energi Indonesia*, *06*(02), 1–6.
- Nurdiansah, H., Dipakusuma, W. R., & Susanti, D. (2020). Pengaruh variasi temperatur hidrotermal terhadap struktur dan sifat kapasitif Carbon Nanotube (CNT) dengan prekursor Ferrocene untuk aplikasi superkapasitor. *9*(2), 141–143.
- Nuriana, Y., Susanti, D., Purwaningsih, H., & Atmono, T. M. (2017). Analisis Pengaruh Waktu Sputtering Pd dan Ni pada Sintesis Material Elektrokatalis Berbahan Pd-Ni/Graphene terhadap Unjuk Kerja Direct Methanol Fuel Cell (DMFC). *Jurnal Teknik ITS*, *6*(1).
- Okonkwo, P. C., & Otor, C. (2021). A review of gas diffusion layer properties and water management in proton exchange membrane fuel cell system.

- International Journal of Energy Research*, 45(3), 3780–3800.
- Onggo, H., Syampurwadi, A., & Yudianti, R. (2013). Pembuatan Gas Diffusion Electrode Dengan Teknik Screen Printing : Pengaruh Microporous Layer Terhadap Strukturmikro Dan Kinerja Elektrokatalis. *Jurnal Sains Materi Indonesia*, 14(4), 253–258.
- Pandiyan, A., Uthayakumar, A., Subrayan, R., Cha, S. W., & Krishna Moorthy, S. B. (2019). Review of solid oxide electrolysis cells: a clean energy strategy for hydrogen generation. *Nanomaterials and Energy*, 8(1), 2–22.
- Pollet, B. G., Franco, A. A., Su, H., Liang, H., & Pasupathi, S. (2016). Proton exchange membrane fuel cells. In *Compendium of Hydrogen Energy*.
- Pranoto, B., Ahadi, K., Rasyid, H. Al, Ketengalistrikan, P., Baru, E., & Energi, K. (2012). *Manajemen Pembebanan Pada Keluaran Fuel Cell Jenis Pemfc Untuk Optimalisasi Inverter Dc-Ac Loading Management on the Output of Fuel Cell Pemfc Type for Optimization of Dc-Ac Inverter*. 11(2), 115–122.
- Pratama, B., Rohendi, D., & Syarif, N. (2018). Pembuatan dan Pengujian MEA untuk PEMFC dengan Katalis Pt-Ni/C. *Jurusan Kimia MIPA*.
- Purnami, P., Wardana, I., & K, V. (2015). Pengaruh Penggunaan Katalis Terhadap Laju Dan Efisiensi Pembentukan Hidrogen. *Jurnal Rekayasa Mesin*, 6(1), 51–59.
- Putrandi, F. T. (2017). Application of papaya (carica papaya) leaf extract as organic inhibitor on api 5L grade B steel in HCl 1 M solution media. In *Institut Teknologi Sepuluh November, Surabaya: Vol. Institut T*.
- Rashid, M. M., Mesfer, M. K. Al, Naseem, H., & 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*, 3, 2249–8958.
- Ridlo, M. R. (2020). *Perkembangan Riset Mea Untuk Pemfc*. 531–536.
- Riyani, K., Setyaningtyas, T., & Dwiasi, D. W. (2015). Sintesis dan Karakterisasi Fotokatalis TiO₂-Cu Syntesist And Characterisation TiO₂-Cu Photocatalyst. *Molekul*, 10(2), 104–111.
- Rohendi, D., Majlan, E. H., Mohamad, A. B., Shyuan, L. K., & 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.
- Ruiz-Camacho, B., Baltazar Vera, J. C., Medina-Ramírez, A., Fuentes-Ramírez, R., & Carreño-Aguilera, G. (2017). EIS analysis of oxygen reduction reaction of Pt supported on different substrates. *International Journal of Hydrogen Energy*, 42(51), 30364–30373.
- Rusdianasari, Bow, Y., & Dewi, T. (2019). HHO Gas Generation in Hydrogen Generator using Electrolysis. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 258(1).
- Samad, S., Loh, K. S., Wong, W. Y., Lee, T. K., Sunarso, J., Chong, S. T., & Wan Daud, W. R. (2018). Carbon and non-carbon support materials for platinum-based catalysts in fuel cells. *International Journal of Hydrogen Energy*, 43(16), 7823–7854.
- Sapountzi, F. M., Gracia, J. M., Weststrate, C. J. (Kee, J., Fredriksson, H. O. A., & Niemantsverdriet, J. W. (Hans. (2017). Electrocatalysts for the generation of hydrogen, oxygen and synthesis gas. *Progress in Energy and Combustion Science*, 58, 1–35.
- Sebastian, O., & Burhanuddin Sitorus, T. (2013). Analisa Efisiensi Elektrolisis Air Dari Hydrofill Pada Sel Bahan Bakar. *Jurnal Dinamis*, 11(12).
- Septiani, U., Gustiana, M., & -, S. (2015). Pembuatan Dan Karakterisasi Katalis Tio₂/Karbon Aktif Dengan Metode Solid State. *Jurnal Riset Kimia*, 9(1), 34.
- Sheikhbahaei, V., Baniasadi, E., & Naterer, G. F. (2018). Experimental investigation of solar assisted hydrogen production from water and aluminum. *International Journal of Hydrogen Energy*, 43(19), 9181–9191.
- Shiva Kumar, S., & Himabindu, V. (2019). Hydrogen production by PEM water electrolysis – A review. *Materials Science for Energy Technologies*, 2(3), 442–454.
- Shiva Kumar, S., Ramakrishna, S. U. B., Rama Devi, B., & 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), 558–567.
- Siregar, M. A., Umurani, K., & Damanik, W. S. (2020). Pengaruh Jenis Katoda Terhadap Gas Hidrogen Yang Dihasilkan Dari Proses Elektrolisis Air Garam. *Media Mesin: Majalah Teknik Mesin*, 21(2), 57–65.
- Sun, X., Xu, K., Fleischer, C., Liu, X., Grandcolas, M., Strandbakke, R., Bjørheim, T. S., Norby, T., & Chatzitakis, A. (2018). Earth-abundant electrocatalysts in proton exchange membrane electrolyzers. *Catalysts*, 8(12).
- Susanto, A., Rubiono, G., & Bunawi. (2016). PENGARUH VARIASI LUAS PERMUKAAN PLAT ELEKTRODA DAN KONSENTRASI *Jurnal Prodi Teknik Mesin Universitas PGRI Banyuwangi Jurnal Prodi Teknik Mesin Universitas PGRI Banyuwangi*. 1(1), 1–6.
- Susilo, S. H., & Jannah, Z. (2020). *Effect of Electrodes , Electric Currents , And Nahco 3 Concentration Against Hho Pressure Generator*. 10(4), 4–9.
- Tang, H., Wang, J., Yin, H., Zhao, H., Wang, D., & Tang, Z. (2015). Growth of polypyrrole ultrathin films on mos2 monolayers as high-performance supercapacitor electrodes. *Advanced Materials*, 27(6), 1117–1123.
- Védrine, J. C. (2017). Heterogeneous catalysis on metal oxides. *Catalysts*, 7(11).
- Wafiroh, S., Suyanto, S., & Yuliana, Y. (2016). Pembuatan Dan Karakterisasi Membran Komposit Kitosan-Sodium Alginat Terfosforilasi Sebagai Proton Exchange Membrane Fuel Cell (Pemfc). *Jurnal Kimia Riset*, 1(1), 14.
- Wahyono, Y., Sutanto, H., Hidayanto, E., Fisika, D., Sains, F., & Diponegoro, U. (2017). Produksi Gas Hydrogen Menggunakan Metode Elektrolisis Dari Elektrolit Air Dan Air Laut Dengan Penambahan Katalis Naoh. *Youngster Physics Journal*, 6(4), 353–359.
- Weber, A. Z., Balasubramanian, S., & Das, P. K. (2012). Proton Exchange Membrane Fuel Cells. In *Advances in Chemical Engineering* (Vol. 41).
- Wisojodharmo, L. A., Arti, D. K., & Dewi, E. L. (2012). Pendahuluan Karakterisasi Grafit Matriks Polistiren Sebagai Material Untuk Separator Proton Exchange Membrane Fuel Cell. *Jurnal Sains Materi Indonesia*, 14(2), 103–107.
- Yuan, X. Z., & Wang, H. (2008). PEM fuel cell fundamentals. In *PEM Fuel Cell Electrocatalysts and Catalyst Layers: Fundamentals and Applications*.

Zhang, J., Zhang, H., Wu, J., & Zhang, J. (2013). Techniques for PEM Fuel Cell Testing and Diagnosis. In *Pem Fuel Cell Testing and Diagnosis*.