

ELEKTROLISIS AIR MENGGUNAKAN *MEMBRANE ELECTRODE ASSEMBLY* (MEA) DENGAN KATALIS Cu₂O/C PADA ARUS DAN PEMUATAN KATALIS BERVARIASI

SKRIPSI

Diajukan sebagai Salah Satu Syarat untuk Memperoleh Gelar Sarjana di Jurusan Kimia pada Fakultas MIPA



Oleh :

**FATMAWATI
08031281823096**

**JURUSAN KIMIA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS SRIWIJAYA
2022**

HALAMAN PENGESAHAN

ELEKTROLISIS AIR MENGGUNAKAN *MEMBRANE ELECTRODE ASSEMBLY* (MEA) DENGAN KATALIS Cu₂O/C PADA ARUS DAN PEMUATAN KATALIS BERVARIASI

SKRIPSI

Diajukan sebagai Salah Satu Syarat Memperoleh
Gelar Sarjana Sains Bidang Studi Kimia

Oleh :

FATMAWATI
08031281823096

Indralaya, 1 Maret 2022

Mengetahui,

Dekan FMIPA



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

NIP. 197111191997021001

Pembimbing

Dr. Dedi Rohendi, M.T

NIP. 196704191993031001

HALAMAN PERSETUJUAN

Karya tulis ilmiah berupa skripsi ini dengan judul “Elektrolisis Air Menggunakan *Membrane Electrode Assembly* (MEA) dengan Katalis Cu₂O/C Pada Arus dan Pemuatan Katalis Bervariasi” telah dipertahankan dihadapan Tim Penguji Sidang Sarjana Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Sriwijaya pada Tanggal 10 Februari 2022 dan telah diperbaiki, diperiksa serta disetujui sesuai masukan yang diberikan.

Indralaya, 1 Maret 2022

Ketua :

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

()

Anggota :

1. **Dr. Nirwan Syarif, M.Si**
NIP. 197010011999031003
2. **Dra. Fatma, MS**
NIP. 196207131991022001

()
()

Mengetahui,



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



NIP. 196903041994122001

PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH

Yang bertanda tangan di bawah ini :

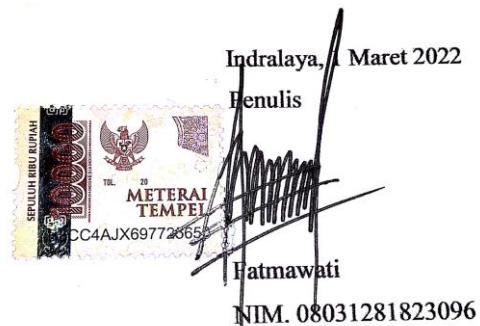
Nama Mahasiswa : Fatmawati

NIM : 08031281823096

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.



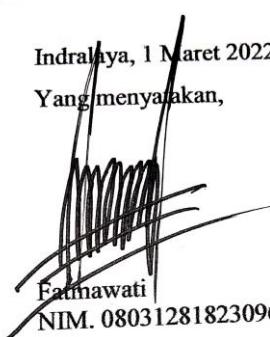
HALAMAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

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

Nama Mahasiswa : Fatmawati
NIM : 08031281823096
Fakultas/Jurusan : MIPA/Kimia
Jenis Karya : Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, saya menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Sriwijaya “Elektrolisis Air Menggunakan *Membrane Electrode Assembly* (MEA) dengan Katalis Cu₂O/C Pada Arus dan Pemuatan Katalis Bervariasi”. Dengan hak bebas royalty non-ekslusif ini Universitas Sriwijaya berhak menyimpan, mengalih, edit/memformatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (database), merawat, dan mempublikasikan tugas akhir atau skripsi saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik hak cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya.

Indralaya, 1 Maret 2022
Yang menyalakan,

Fatmawati
NIM. 08031281823096

HALAMAN PERSEMBAHAN

“Maka sesungguhnya bersama kesulitan itu ada kemudahan ”

(Q.S. Al Insyirah 5)

“Learn from yesterday, live for today, hope for tomorrow. The important thing is not to stop questioning ”

(Albert Einstein)

“People come and go tapi tetap realisasikan niat baikmu”

(My Mom)

Skripsi ini sebagai tanda syukurku kepada:

Allah SWT

Nabi Muhammad SAW

Karya ilmiah ini saya persembahkan untuk kedua orang tua tercinta yang selalu mensupport dalam keadaan apapun dan pembimbing yang selalu siap memberikan arahan di sela kesibukan, saudara serta keluarga besarku, sahabatku, orang-orang yang pernah hadir dalam hidupku, serta Almamater tercinta.

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur atas rahmat dan karunia Allah SWT sehingga penulis akhirnya dapat menyelesaikan penulisan skripsi yang berjudul: “Elektrolisis Air Menggunakan *Membrane Electrode Assembly* (MEA) dengan Katalis Cu₂O/C Pada Arus dan Pemuatan Katalis Bervariasi”. 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 literatur, penelitian, pengumpulan data dan sampai pada pengolahan data maupun dalam tahap penulisan. Namun dengan kesabaran dan ketekunan yang dilandasi dengan rasa tanggung jawab selaku mahasiswa dan juga bantuan dari berbagai pihak, baik material maupun moril, akhirnya selesai sudah penulisan skripsi ini. Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Bapak **Dr. Dedi Rohendi, M.T** 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. Muhamni, 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
5. Bapak Dr. Nirwan Syarif, M.Si dan Ibu Dra. Fatma, MS selaku pembahas dan penguji sidang sarjana.
6. Seluruh Dosen FMIPA Kimia Universitas Sriwijaya yang telah memberikan ilmu, mendidik dan membimbing selama masa kuliah.
7. Ibu Siti Nuraini, S.T., Ibu Yuniar, S.T. M. Sc., dan Ibu Hanida Yanti, A. Md. selaku analis di Laboratorium Kimia.
8. Mbak Novi dan Kak Chosiin selaku Admin Jurusan Kimia yang banyak membantu dalam proses perkuliahan hingga tugas akhir.

9. Kedua orang tuaku tercinta, terimakasih selalu mendoakan dan mendukung ayuk serta selalu ada dan memberikan nasihat-nasihat baik disaat kondisi terendah ayuk. Adikku tercinta Inda Juli Sartika yang selalu mendengarkan keluh kesahku dan mensupport dikala lelah, terimakasih banyak. Tanpa mereka penulis tidak akan bisa bertahan hingga tahap ini.
10. Saudara-saudaraku (Abang Lem, Abang Evran, Yuk Eka, Uni Sonya dan Kak Yahya) yang memberikan dukungan dan arahan.
11. Mbak Septi, kakak iparku tersayang yang selalu mendengarkan curhatan ayuk, support ayuk dan memberikan arahan yang baik as a good sister. Terimakasih banyak mbak sayang, selalu jadi orang baik mbak, semoga allah senantiasa melindungi mbak.
12. Keluarga Besarku yang selalu mendoakan dan senantiasa memberikan dukungan dan arahan.
13. Caca sobat imutku wkwk terimakasih ca sudah selalu ada apapun kondisinya, terimakasih untuk support dan nasihat-nasihat yang diberikan. Selalu saling menguatkan dan menghibur walaupun diri sendiri lagi down ya ca, bangga banget aku punya bestie yang strong, jangan bosan keliling palembang jambi ca selagi kaki masih kuat, semoga yang disemogakan tersemogakan yaa caca, aamiin. Terimakasih ca udah mau jadi sahabat dan saudara bagi fatma selama 6 tahun belakangan ini. Semangat ca buat next chapter caa, jangan ngerasa sendirian, ada mama papamuu dan aku of course yang siap mendengarkan keluh kesahmu. Tetap jadi orang baik ya bestie.
14. Kak Icha, mentorku yang teramat baik, terimakasih banyak kak atas ilmu yang diberikan, sudah bantuin fatma penelitian dan mengambil data, jadi partner perdiskonan duniawi wkwk, sehat selalu kak icha. Semoga allah membalas kebaikan kakak dengan banyak kebaikan lainnya, aamiin. Sukses yaa sama doinya, hihihwww.
15. Mentor PUR (Kak Reka, Kak Dwi dan Kak Yuni), terimakasih banyak kak atas support dan ilmu yang diberikan. Semoga allah membalas kebaikan-kebaikan kakak-kakak sekalian.

16. Igam Aini Utami, teruntuk Igam terimakasih banyak gam udah mau jadi sahabat aku dari maba, terimakasih igam sudah mau diajak bekerjasama dalam berbagai hal (wkwk jadi inget moment dituduh contekan dan dikeluarin dari kelas), sudah mau ngajarin aku dibeberapa materi yang aku kurang paham, mau jadi pendengar disetiap keluh kesah aku, partner perghibahan, diskon, nongki dan lainnya. Terimakasih juga gam udah bantuin penelitian aku mulai dari awal nentuin judul sampe sekarang. Semangat buat next chapter gam, semoga apa yang kita harapkan terwujud, aamiin. Semangatt igam!! Ayok kita gofood terus gam! hehe
17. Maria Ulfa, terimakasih banyak ulfa sudah mau sharing disetiap mata kuliah yang sama kita ambil, udah mau kerja sama, mau menjelaskan part-part yang tidak kupahami. Semangat ulfaaa!
18. Sukma Darajah, hello sukma, thank u so much udah mau dengerin cerita-ceritakuu, memberikan solusi dan support walaupun dianya sendiri lagi terpuruk (strong girl), terimakasih udah mau jadi sobat dalam dunia perskincare-an, gofood, shopee, shopeefood dan ghibah wkwk. Semangat suk buat next chapter, semoga yang diharapkan terwujud, aamiin.
19. Mia Tirta Sari, yuk miaa yang sangat menyebalkan wkwk, terimakasih yuk mia udah mau support aku, mau denger keluh kesah aku, partner jalan-jalan dan jajan kalo dilayo pantang pulang sebelum adzan magrib kan yuk hehe. Semangat yukk, banyak-banyak jajan yuk biar happy terus, semoga urusan ayuk dipermudah, aamiin.
20. Christy Anggunita, hello cici terimakasih banyak ci udah mau sharing materi penelitian sama aku, ngurus berkas bareng yang banyak sekali dramanya, mau denger keluh kesah aku. Semangat cici buat next chapter, bakalan ada moment happy kok ci abis ini, semoga selalu bahagiaa cici, aamiin.
21. Lambe PUR (Igam, Cici, Ade, Delima, Marya, Sabrina, Sandi, Ilyas, Devi dan Anin) dan teman-teman yang sedang penelitian, semangat buat kalian semua, terimakasih sudah memberikan warna dipenelitianku dan membantu penelitian aku. Sukses terus guys! Aamiin

22. HOLA (Igam, Sukma, Yuk Mia, Ariqah, Aza, Afril, Nanda, Lisa, Tasud dan Anggun), thank u guys sudah memberikan warna dikehidupan kampusku, sukses terus buat kalian. Semangat!
23. PUR 2017 (Kak Saumi, Kak Vadia dan Kak Resti), terimakasih kak sudah mau bantu penelitian fatma, sharing materi dan mau menjawab pertanyaan-pertanyaam fatma, sukses terus kakk, aamiin.
24. Teman-teman kelas genap 2018, terimakasih sudah memberikan warna dikehidupan perkuliahanmu, semangat guys, sukses selalu.
25. Teman-teman angkatan 2018, terimakasih banyak, semangat teman-teman.
26. Untuk semua yang pernah hadir dalam hidup saya, memberikan banyak pelajaran kepada saya sehingga bisa menjadi sosok yang seperti sekarang.
27. Semua pihak yang telah membantu saya baik secara langsung maupun tidak langsung yang tidak dapat disebutkan satu per satu, sehingga saya dapat menyelesakan 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. 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, 1 Maret 2022

Penulis

SUMMARY
ELECTROLYSIS OF WATER USING MEMBRANE ELECTRODE
ASSEMBLY (MEA) WITH CU₂O/C CATALYSTS ON
CURRENT AND LOADING CATALIST VARIED

Fatmawati : Supervised by Dr. Dedi Rohendi, M.T

Chemistry, Faculty of Mathematics and Natural Science, Sriwijaya University
x + 67 pages, 5 tables, 9 pictures, 6 appendices

Hydrogen energy is one of the new renewable energies that can replace fossil energy sources because it is environmentally friendly. In this research, water of electrolysis is conducted by using a Membrane Electrode Assembly (MEA) with a Cu₂O/C catalyst on current and catalyst loading varied. The catalyst was distributed on the surface Gas Diffusion Layer (GDL) to have the resulting electrode (anode and cathode). That electrode was characterized using Cyclic Voltammetry (CV) method to obtain Electrochemical Surface Area (ECSA) value and Electrochemical Impedance Spectroscopy (EIS) to obtain conductivity value.

The electrode ECSA maximum value with Cu₂O/C catalyst was on loading catalyst 2 mg/cm² in the amount of 64,54 cm²/g that signed the catalytic activity on that electrode was great. CV measurements showed that electrode electrical conductivity value with the biggest Cu₂O/C catalyst was found in the loading catalyst of 2 mg/cm² of 3.04×10^{-6} S/cm, which indicated that the electrode has the ability to conduct good electricity. MEA with Cu₂O/C catalyst at loading 1 mg/cm² resulted in optimum hydrogen production rate at 1.5 A current, while in the optimum hydrogen production rate on the current of 1.5 A, while on MEA with Cu₂O/C catalyst at the loading of 1.5; 2 and 2.5 mg/cm², in the optimum hydrogen production rate at 3 A. The highest hydrogen production rate used MEA with a catalyst pemuatan of 2.5 mg/cm² and a hydrogen production rate of 3.75 mL/s. The rate of hydrogen production was increasing by raising the used loading of the catalyst.

Key words : Electrolysis of water, Cu₂O/C, *Cyclic Voltammetry (CV)* ,
Electrochemical Impedance Spectroscopy (EIS)

Citation : 67 (2007-2021)

RINGKASAN
ELEKTROLISIS AIR MENGGUNAKAN *MEMBRANE ELECTRODE ASSEMBLY* (MEA) DENGAN KATALIS Cu₂O/C PADA ARUS DAN PEMUATAN KATALIS BERVARIASI

Fatmawati : Dibimbing oleh Dr. Dedi Rohendi, M.T

Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Sriwijaya
x + 67 halaman, 5 tabel, 9 gambar, 6 lampiran

Energi hidrogen merupakan salah satu energi baru terbarukan yang dapat menggantikan sumber energi fosil karena sifatnya yang ramah lingkungan. Pada penelitian ini dilakukan elektrolisis air menggunakan *Membrane Electrode Assembly* (MEA) dengan katalis Cu₂O/C pada arus dan pemuatan katalis bervariasi. Katalis didistribusikan pada permukaan *Gas Diffusion Layer* (GDL) sehingga dihasilkanlah elektroda (anoda dan katoda). Elektroda tersebut dilakukan pengukuran menggunakan metode *Cyclic Voltammetry* (CV) untuk mendapatkan nilai *Electrochemical Surface Area* (ECSA) dan *Electrochmcical Impedance Spectroscopy* (EIS) untuk mendapatkan nilai konduktivitas.

Nilai ECSA elektroda dengan katalis Cu₂O/C terbesar terdapat pada pemuatan katalis 2 mg/cm² sebesar 64,54 cm²/g yang menunjukkan aktivitas katalitik pada elektroda tersebut besar. Hasil dari pengukuran EIS menunjukkan nilai konduktivitas elektrik elektroda dengan katalis Cu₂O/C terbesar terdapat pada pemuatan katalis 2 mg/cm² sebesar $3,04 \times 10^{-6}$ S/cm yang menandakan elektroda tersebut memiliki kemampuan menghantarkan listrik yang baik. MEA dengan katalis Cu₂O/C pada pemuatan 1 mg/cm² menghasilkan laju produksi hidrogen optimum pada arus 1,5 A sedangkan pada MEA dengan katalis Cu₂O/C pemuatan 1,5; 2 dan 2,5 mg/cm² menghasilkan laju produksi hidrogen optimum pada arus 3 A. Laju produksi hidrogen tertinggi menggunakan MEA dengan pemuatan katalis 2,5 mg/cm² dengan laju produksi hidrogen sebesar 3,75 mL/s. Laju produksi hidrogen meningkat dengan meningkatnya pemuatan katalis yang digunakan.

Kata Kunci : Elektrolisis air, Cu₂O/C, *Cyclic Voltammetry* (CV) , *Electrochemical Impedance Spectroscopy* (EIS)

Situsi : 67 (2007-2021)

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PENGESAHAN.....	ii
HALAMAN PERSETUJUAN.....	iii
PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH.....	iv
HALAMAN PERSETUJUAN PUBLIKASI	v
HALAMAN PERSEMBAHAN	vi
KATA PENGANTAR.....	vii
SUMMARY	xi
RINGKASAN	xii
DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR GAMBAR.....	xvii
DAFTAR TABEL	xvii
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. Produksi hidrogen.....	5
2.3. Elektrolisis.....	5
2.3.1. Elektrolisis Air.....	5
2.3.1.1. Elektrolisis air dengan alkali	8
2.3.1.2. Elektrolisis temperatur-tinggi (HT) dengan oksida padat	7
2.3.1.3. <i>Proton exchange membrane</i> elektrolisis air	8

2.4. Komponen Penyusun PEM Elektrolisis Air.....	9
2.4.1. Pengumpul Arus (<i>Current Collectors</i>)	10
2.4.2. Plat Bipolar (<i>Bipolar Plates</i>)	10
2.4.3. <i>Membrane Electrode Assembly</i> (MEA).....	11
2.4.3.1 <i>Gas diffusion layer</i> (GDL)	12
2.4.3.2 Lapisan katalis.....	12
2.4.3.3. Membran elektrolit padat	12
2.5. Katalis Cu ₂ O.....	13
2.6. Karbon	13
2.7. Pengukuran Elektroda	14
2.7.1. <i>Cyclic Voltammetry</i> (CV)	15
2.7.2. <i>Electrochemical Impedance Spectroscopy</i> (EIS)	16
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	18
3.1. Waktu dan Tempat	18
3.2. Alat dan Bahan	18
3.3. Prosedur Penelitian.....	18
3.3.1. Pembuatan <i>Gas Diffusion Layer</i> (GDL).....	18
3.3.2. Preparasi Katalis Cu ₂ O/C	19
3.3.3. Pembuatan Elektroda Cu ₂ O/C	19
3.3.4. Pengujian Sifat Elektrokimia Elektroda Menggunakan Metode <i>Cyclic Voltammetry</i> (CV).....	20
3.3.5. Pengukuran Nilai Konduktivitas Elektrik Elektroda menggunakan Metode <i>Electrochemical Impedance Spectroscopy</i> (EIS).....	20
3.3.6. Pembuatan <i>Membrane Electrode Assembly</i> (MEA).....	20
3.3.7. Produksi Hidrogen.....	21

3.3.7.1. Produksi hidrogen pada arus dan pemuatan katalis bervariasi	21
3.4. Analisis Data	21
3.4.1. Analisis Laju Produksi Hidrogen	21
3.4.2. Analisis Pengujian Sifat Elektrokimia Elektroda	21
3.4.3. Analisis Konduktivitas Elektrik Elektroda.....	22
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	24
4.1. Pengukuran Nilai Electrochemical Surface Area (ECSA) dengan Metode <i>Cyclic Voltammetry</i>	24
4.2. Pengukuran Nilai Konduktivitas Elektroda dengan Metode <i>Electrochemical Impedance Spectroscopy</i> (EIS)	26
4.3. Laju Produksi Hidrogen	29
4.3.1.Pemuatan Katalis Bervariasi Pada Konversi Air Menjadi Hidrogen Dengan Metode Elektrolisis Air .	29
4.3.2.Variasi Arus Pada Konversi Air Menjadi Hidrogen dengan Metode Elektrolisis Air	29
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	32
5.1. Kesimpulan.....	32
5.2. Saran	32
DAFTAR PUSTAKA	34

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 1. Skema Kerja Elektrolisis Air dengan Alkali.....	7
Gambar 2. Skema Kerja Elektrolisis Air dengan Oksida Padat.....	8
Gambar 3. Skema Kerja PEM Elektrolisis Air	9
Gambar 4. Komponen Penyusun PEM Elektrolisis Air.....	10
Gambar 5. Komponen Penyusun MEA.....	12
Gambar 6. Voltammogram elektroda Cu ₂ O/C dengan pemuatan katalis (a) 1 mg/cm ² , (b) 1,5 mg/cm ² , (c) 2 mg/cm ² , (d) 2,5 mg/cm ²	25
Gambar 7. Kurva Nyquist pengukuran EIS elektroda Cu ₂ O/C pada pemuatan katalis (a) 1, (b) 1,5, (c) 2 dan (d) 2,5 mg/cm ²	28
Gambar 8. Laju produksi hidrogen dengan pemuatan katalis bervariasi pa- da elektroda dengan katalis Cu ₂ O/C.....	29
Gambar 9. Laju produksi hidrogen dengan arus bervariasi pada elektroda dengan katalis Cu ₂ O/C.....	30

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 1. Sifat fisika dan kimia hidrogen	4
Tabel 2. Tabel Perhitungan Kandungan Komponen pada Elektroda.....	19
Tabel 3. Data Hasil Fitting Kurva Nyquist	22
Tabel 4. Hasil perhitungan ECSA elektroda dengan katalis Cu ₂ O/C pada variasi pemuatan	26
Tabel 5. Data hasil fitting kurva Nyquist dan nilai konduktivitas pada elektroda dengan katalis Cu ₂ O/C	28

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran 1. Skema Kerja PEM Elektrolisis Air	42
Lampiran 2. Perhitungan Kandungan Komponen Katalis.....	43
Lampiran 3. Perhitungan Nilai ECSA Pengukuran <i>Cyclic Voltammetry</i>	46
Lampiran 4. Perhitungan Nilai Konduktivitas Pengukuran <i>Electrochemical Impedance Specstroscopy</i>	54
Lampiran 5. Tabel dan Hasil Perhitungan Laju Produksi Hidrogen	58
Lampiran 6. Gambar Alat dan Bahan Penelitian	66

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Mayoritas energi didunia masih berasal dari bahan bakar fosil. Penggunaan energi yang berasal dari fosil seperti minyak bumi dan batubara secara terus-menerus menyebabkan ketersediannya semakin berkurang (Azhar dan Satriawan, 2018). Hasil buangan dari limbah fosil berupa gas CO₂ yang termasuk golongan gas rumah kaca. Efek gas rumah kaca dapat menyebabkan radiasi sinar infra merah tertahan sehingga dapat menimbulkan pemanasan global pada bumi (Harjanto, 2008). Salah satu solusi untuk mengantisipasi dan meminimalisir hal tersebut adalah dengan menggunakan energi baru terbarukan atau EBT (Azhar dan Satriawan, 2018). Energi hidrogen adalah energi baru terbarukan yang dapat digunakan untuk menggantikan sumber energi fosil. Hidrogen memiliki beberapa keunggulan, antara lain; ramah lingkungan, bisa diperbarui (*renewable energy*), tidak menimbulkan efek rumah kaca, penipisan lapisan ozon maupun hujan asam karena hasil samping pembakaran hidrogen berupa uap air (E. L. Dewi, 2011).

Metode yang bisa digunakan pada proses produksi hidrogen adalah dengan menggunakan metode elektrolisis air. Produksi hidrogen dengan menggunakan elektrolisis air sangat efektif karena menggunakan air dan hasil sampingan yang dihasilkan berupa oksigen murni. Proses elektrolisis dapat memanfaatkan daya *Direct Current (DC)* dari sumber daya energi berkelanjutan seperti biomassa, angin dan tenaga surya (matahari). Keuntungan dari elektrolisis air adalah efisiensi sel yang tinggi, laju produksi hidrogen yang lebih besar, hidrogen yang dihasilkan memiliki kemurniaan yang tinggi dan menguntungkan untuk konversi lebih lanjut menjadi energi listrik dengan menggunakan *fuel cell*, sedangkan kekurangannya membran elektrolit yang bersifat korosif dan mahal. Pada elektrolisis, molekul air adalah suatu reaktan yang akan didisosiasi menjadi oksigen dan hidrogen dibawah pengaruh arus listrik (Kumar and Himabindu,2019)

Penggunaan katalis juga berpengaruh terhadap laju produksi hidrogen, semakin banyak katalis yang digunakan maka laju produksi hidrogen akan semakin besar karena luas bidang kontaknya juga semakin besar. Umumnya, katalis yang digunakan adalah katalis dengan stabilitas dan keaktifan yang tinggi (Purnami et al., 2015). Pada penelitian ini menggunakan katalis Cu₂O yang memiliki beberapa kelebihan seperti, semikonduktor, non-toksik, harganya murah, mudah dicampur dengan polimer lain, relatif stabil baik dari segi kimia maupun sifat fisiknya dan memiliki aplikasi yang luas (Badawy et al., 2015). Ukuran partikel katalis Cu₂O lebih kecil dibandingkan logam Cu sehingga keaktifan katalis Cu₂O lebih tinggi (Sarwono dan Tursiloadi, 2015). Cu₂O memiliki konduktivitas listrik yang rendah maka dibutuhkan karbon (C) untuk meningkatkan kualitas konduktivitas listriknya dan ketahanan korosi sehingga katalis Cu₂O/C dapat digunakan sebagai elektrokatalis yang potensial (Ye et al., 2014). Penelitian yang telah dilakukan sebelumnya oleh (Savitri, 2020) dan (Dewi, 2021) menunjukkan hasil terbaik dalam proses produksi hidrogen menggunakan metode elektrolisis air dengan katalis Cu₂O/C sehingga pada penelitian kali ini dilakukan pembuatan *Membrane Electrode Assembly* (MEA) menggunakan katalis Cu₂O/C dengan memvariasikan pemuatan katalis dan arus yang selanjutnya laju produksi hidrogen dapat diukur.

Pada penelitian ini dilakukan karakterisasi katalis dengan cara perhitungan *Cyclic Voltammetry* atau CV dan *Electrochemical Impedance Spectroscopy* atau EIS. Prinsip dasar *Cyclic Voltammetry* (CV) adalah hubungan antara potensial dan arus terukur yang akan menghasilkan kurva voltamogram sehingga nilai *Electrochemical Surface Area* (ECSA) pada katalis akan terukur (Hartina, 2017). Pengukuran *Electrochemical Impedance Spectroscopy* merupakan suatu metode yang digunakan untuk mengetahui konduktivitas elektronik dari katalis (Surakusumah & Rustandi, 2014).

1.2. Rumusan Masalah

1. Bagaimana karakteristik katalis Cu₂O/C untuk elektrolisis air menggunakan *Membrane Electrode Assembly* (MEA)?

2. Bagaimana pengaruh arus dan pemuatan katalis yang bervariasi terhadap laju produksi hidrogen pada elektrolisis air dengan menggunakan *Membrane Electrode Assembly* (MEA)?

1.3. Tujuan Penelitian

1. Melakukan pengukuran elektroda dengan katalis Cu₂O/C dengan menggunakan data *Cyclic Voltammetry* (CV) untuk menghitung luas permukaan katalitik dan data *Electrochemical Impedance Spectroscopy* (EIS) untuk menghitung konduktivitas elektrik.
2. Menentukan laju produksi hidrogen yang dihasilkan menggunakan katalis Cu₂O/C dengan variasi arus dan pemuatan katalis.

1.4. Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi penuh pada produksi hidrogen dengan metode elektrolisis air menggunakan MEA dengan katalis Cu₂O/C pada muatan optimum sehingga menghasilkan hidrogen dengan kemurnian yang tinggi dan dapat digunakan untuk *fuel cell*.

DAFTAR PUSTAKA

- Acar, C., & Dincer, I. (2018). Hydrogen Production. In *Comprehensive Energy Systems* (Vols. 3–5). <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809597-3.00304-7>
- Afieff, A., & SYL, I. (2017). Produksi Gas Hidrogen Menggunakan Elektroda Stainless Steel/Fe-Co-Ni Dengan Media Tepung Biji Rambutan (Nephelium lappaceum l.). *Pendidikan Kimia FMIPA Universitas Negeri Yogyakarta*, 259–268.
- Alimah, S., & Dewita, E. (2008). Pemilihan teknologi produksi hidrogen dengan memanfaatkan energi nuklir. *Jurnal Pengembangan Energi Nuklir*, 10(2), 123–132.
- Athanasaki, G., Wang, Q., Shi, X., Chauhan, N., & Vimala, V. (2020). ScienceDirect Design and development of gas diffusion layers with pore forming agent for proton exchange membrane fuel cells at various relative humidity conditions. *International Journal of Hydrogen Energy*, xxxx. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2020.11.187>
- Atrens, A., Song, G. L., Shi, Z., Soltan, A., Johnston, S., & Dargusch, M. S. (2018). Understanding the corrosion of mg and mg alloys. In *Encyclopedia of Interfacial Chemistry: Surface Science and Electrochemistry*. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409547-2.13426-2>
- Azhar, M., & Satriawan, D. A. (2018). Implementasi Kebijakan Energi Baru dan Energi Terbarukan Dalam Rangka Ketahanan Energi Nasional. *Administrative Law and Governance Journal*, 1(4), 398–412. <https://doi.org/10.14710/alj.v1i4.398-412>
- Badawy, S. M., El-Khashab, R. A., & Nayl, A. A. (2015). Synthesis, characterization and catalytic activity of Cu/Cu₂O nanoparticles prepared in aqueous medium. *Bulletin of Chemical Reaction Engineering & Catalysis*, 10(2), 169–174. <https://doi.org/10.9767/bcrec.10.2.7984.169-174>
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2013.01.151>
- Chen, M., Zhao, C., Sun, F., Fan, J., Li, H., & Wang, H. (2020). Research progress of catalyst layer and interlayer interface structures in membrane electrode assembly (MEA) for proton exchange membrane fuel cell (PEMFC) system. *ETransportation*, 5, 100075. <https://doi.org/10.1016/j.etran.2020.100075>
- Destyorini, Irmawati, Widodo, Khaerudini, & Indayaningsih. (2018). *Properties and Performance of Gas Diffusion Layer PEMFC Derived from Coconut Coir*. 150(3), 148–162.

- Dewi, E. L. (2007). *Modifikasi Nafion dan Pengaruhnya Terhadap Difusi CH 3 OH sebagai Elektrolit Padat Direct Methanol Fuel Cell.* 8(3), 198–204. <http://jurnal.batan.go.id/index.php/jsmi/article/view/4694/4075>
- Dewi, E. L. (2011). Potensi Hidrogen sebagai Bahan Bakar untuk Kelistrikan Nasional. *Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia “Kejuangan” Pengembangan, I*(1), 1–6.
- Dewi, R., Nurwaida, C., Kimia, J. T., Teknik, F., Malikussaleh, U., & Sedangkan, C. (2020). *Jurnal Teknologi Kimia Unimal.* I(November), 46–57.
- 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. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.7b00361>
- Fadlly, T. A., & Harmawan, T. (2019). Characteristic I-V Of Cu/Cu₂O Solar Cells With Belimbing Wuluh (*Averrhoa Bilimbi* L.) Electrolyte Using Sun Simulator. *Characteristic I-V Of Cu/Cu₂O Solar Cells With Belimbing Wuluh (*Averrhoa Bilimbi* L.) Electrolyte Using Sun Simulator,* 11(1), 6–10. <https://doi.org/10.18860/neu.v11i1.5553>
- Gago, A., Ansar, A., & Gazdzicki, P. (2014). *Pelat Bipolar Biaya Rendah untuk PEMElektroliser Skala Besar.* November 2015. <https://doi.org/10.1149/06403.1039ecst>
- García, L. (2015). Hydrogen production by steam reforming of natural gas and other nonrenewable feedstocks. In *Compendium of Hydrogen Energy.* Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/b978-1-78242-361-4.00004-2>
- Grigoriev, S. A., Millet, P., Volobuev, S. A., & Fateev, V. N. (2009). Optimization of porous current collectors for PEM water electrolyzers. *International Journal of Hydrogen Energy,* 34(11), 4968–4973. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2008.11.056>
- Harjanto, N. T. (2008). Dampak lingkungan pusat listrik tenaga fosil dan prospek pltn sebagai sumber energi listrik nasional . *Jurnal BATAN,* I(1), 39–50.
- Hasra Hartina. (2017). Analisis Kadar Logam Pb(Ii), Cu(Ii), Dan Fe(Iii) Dalam Tanaman Pakcoy Menggunakan Teknik Voltametri Pelucutan Anodik Pulsa Diferensial. *Skripsi.*
- Islam, M. N., & Channon, R. B. (2019). Electrochemical sensors. In *Bioengineering Innovative Solutions for Cancer.* Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813886-1.00004-8>
- Ito, H., Maeda, T., Nakano, A., Hwang, C. M., Ishida, M., Kato, A., & Yoshida, T. (2012). Experimental study on porous current collectors of PEM

- electrolyzers. *International Journal of Hydrogen Energy*, 37(9), 7418–7428. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2012.01.095>
- Juodkazyte, J., Šebeka, B., Savickaja, I., Selskis, A., Jasulaitiene, V., & Kalinauskas, P. (2013). Evaluation of electrochemically active surface area of photosensitive copper oxide nanostructures with extremely high surface roughness. *Electrochimica Acta*, 98, 109–115. <https://doi.org/10.1016/j.electacta.2013.03.068>
- Keçebaş, A., Kayfeci, M., & Bayat, M. (2019). Electrochemical hydrogen generation. *Solar Hydrogen Production: Processes, Systems and Technologies*, 9(2), 299–317. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814853-2.00009-6>
- Koraishi, B., Meyers, J. P., & Wood, K. L. (2013). Manufacturing of membrane electrode assemblies for fuel cells. *Journal of Applied Electrochemistry*, 34(2), 1–13.
- Lædre, S., & Lædre, S. (2016). *Doctoral thesis Bipolar Plates for PEM Systems Sigrid Lædre Bipolar Plates for PEM Systems Thesis for the Degree of Philosophiae Doctor* (Vol. 3).
- Li, Y., Tremblay, P. L., & Zhang, T. (2018). Anode catalysts and biocatalysts for microbial fuel cells. In *Progress and Recent Trends in Microbial Fuel Cells* (Issue 1). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-64017-8.00009-9>
- Lopata, J., Kang, Z., Young, J., Bender, G., Weidner, J. W., & Shimpalee, S. (2020). Effects of the Transport/Catalyst Layer Interface and Catalyst Loading on Mass and Charge Transport Phenomena in Polymer Electrolyte Membrane Water Electrolysis Devices. *Journal of The Electrochemical Society*, 167(6), 165–167. <https://doi.org/10.1149/1945-7111/ab7f87>
- Maric, R., & Yu, H. (2019). Proton Exchange Membrane Water Electrolysis as a Promising Technology for Hydrogen Production and Energy Storage. *Nanostructures in Energy Generation, Transmission and Storage*, 2(1), 95–117. <https://doi.org/10.5772/intechopen.78339>
- Maulana, M. I., Syahbanu, I., & Harlia. (2017). Sintesis dan Karakterisasi Material Konduktif Film Komposit Polipirol (PPy)/Selulosa Bakteri. *Jurnal Kimia*, 6(3), 11–18.
- McCay, M. H., & Shafiee, S. (2020). Hydrogen: An energy carrier. *Future Energy: Improved, Sustainable and Clean Options for Our Planet*, 475–493. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102886-5.00022-0>
- Millet, P. (2015). Hydrogen production by polymer electrolyte membrane water electrolysis. In *Compendium of Hydrogen Energy*. Elsevier Ltd.

<https://doi.org/10.1016/b978-1-78242-361-4.00009-1>

- Ningsih, D. A., & Supardi, Z. A. I. (2017). Coating Sodium Carbonate Pada Anoda Reduced Graphene Oxide (Rgo) Untuk Baterai Lithium-Ion. *Inovasi Fisika Indonesia*, 6(3), 123–127.
- Nurdin, M., Agusu, L., Azis, A., Putra, M., Maulidiyah, M., Arham, Z., Wibowo, D., Zakir, M., & Ali, A. (2019). Journal of Physics and Chemistry of Solids Synthesis and electrochemical performance of graphene-TiO₂-carbon paste nanocomposites electrode in phenol detection. *Journal of Physical and Chemistry of Solids*, 131(45), 104–110. <https://doi.org/10.1016/j.jpcs.2019.03.014>
- 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), 96–101. <https://doi.org/10.12962/j23373539.v6i1.21423>
- 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. <https://doi.org/10.1002/er.6227>
- Park, S., Lee, J., & 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. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2011.12.148>
- Pollet, B. G., Franco, A. A., Su, H., Liang, H., & Pasupathi, S. (2016). Proton exchange membrane fuel cells. In *Compendium of Hydrogen Energy*. <https://doi.org/10.1016/b978-1-78242-363-8.00001-3>
- Porciúncula, C. B., Marcilio, N. R., Tessaro, I. C., & Gerchmann, M. (2012). Production of hydrogen in the reaction between aluminum and water in the presence of NaOH and KOH. *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, 29(2), 337–348. <https://doi.org/10.1590/S0104-66322012000200014>
- Pranoto, B., Wargadalam, V. J., Rasyid, H.. (2013). Pelapisan Katalis Pada Proses Pabrikasi Mea Fuel Cell Jenis Pem Catalyst Coating On Fuel Cell Of Mea Fabrication Process Type Pem Percobaan. *Jurnal Ketenagalistrikan Dan Energi Terbarukan*, 12(1), 21–34.
- Purnami, Hamidi, N., Sasongko, M. N., Widhiyanuriyawan, D., & Wardana, I. N. G. (2020). Strengthening external magnetic fields with activated carbon graphene for increasing hydrogen production in water electrolysis. *International Journal of Hydrogen Energy*, 45(38), 19370–19380. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2020.05.148>

- Purnami, P., Wardana, I., & K, V. (2015). Pengaruh Penggunaan Katalis Terhadap Laju Dan Efisiensi Pembentukan Hidrogen. *Jurnal Rekayasa Mesin*, 6(1), 51–59. <https://doi.org/10.21776/ub.jrm.2015.006.01.8>
- Riniati, & Chamidy. (2013). Pembuatan Membran Kitosan Sulfonat Untuk Aplikasi Direct Ethanol Fuel Cell Riniati. *Irwns 2013*. 286–289.
- Sari, F. N. I., Lin, C., & Ting, J. M. (2019). Synthesis and characterizations of Cu₂O/Ni(OH)₂ nanocomposite having a double co-catalyst for photoelectrochemical hydrogen production. *Chemical Engineering Journal*, 368(February), 784–794. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2019.02.169>
- Sarwono, R., & Tursiloadi, S. (2015). Jurnal Sains Materi Indonesia Morfologi Dan Aktifitas Katalis Logam Cu Dengan Penyangga Mono- Dan Bimetalik Oksida Cara Kerja Impregnasi Ko-presipitasi. *Jurnal Sains Materi Indonesia*, 16(2), 76–82.
- Schmidt, O., Gambhir, A., Staffell, I., Hawkes, A., Nelson, J., & Few, S. (2017). Future cost and performance of water electrolysis: An expert elicitation study. *International Journal of Hydrogen Energy*, 42(52), 30470–30492. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2017.10.045>
- Sebastian, O., & Burhanuddin Sitorus, T. (2013). Analisa Efisiensi Elektrolisis Air Dari Hydrofill Pada Sel Bahan Bakar. *Jurnal Dinamis*, 11(12). https://www.academia.edu/28297051/Analisa_Efisiensi_Elektrolisis_Air_Dari_Hydrofill_Pada_Sel_Bahan_Bakar
- Shiva Kumar, S., & Himabindu, V. (2019). Hydrogen production by PEM water electrolysis – A review. *Materials Science for Energy Technologies*, 2(3), 442–454. <https://doi.org/10.1016/j.mset.2019.03.002>
- 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. <https://doi.org/10.1080/15435075.2018.1508468>
- Simbolon, O. K. Y. (2011). *Pembuatan Dan Karakterisasi Komposit Pelat Aluminum Powder*. Skripsi.
- Simamora, J. R., Barus, D. A., Sembiring, A. D., & Simamora, P. (2016). Pengaruh Variasi Konsentrasi Larutan Pengendap terhadap Sifat Optik Nanopartikel Cu₂O yang Disintesis dengan Metode Kopresipitasi. *Jurnal Saintika*, 16(1), 11–19. <http://repository.usu.ac.id/handle/123456789/57913>
- Siracusano, S., Baglio, V., Van Dijk, N., Merlo, L., & Aricò, A. S. (2017). Enhanced performance and durability of low catalyst loading PEM water electrolyser based on a short-side chain perfluorosulfonic ionomer. *Applied*

- Energy*, 192(50), 477–489. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.09.011>
- Sitohang, L., Hakim, L., & Hasfita, F. (2017). Aluminium untuk Produksi Gas Hidrogen Menggunakan Katalis Kalium. *Teknologi Kimia Unimal*, 1(6), 55–67.
- Smolinka, T. (2009). Encyclopedia of Electrochemical Power Sources. *Encyclopedia of Electrochemical Power Sources*, 394–413. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780444527455003154>
- Sudhakar, Y. N., Selvakumar, M., & Bhat, D. K. (2018). Biopolymer Electrolytes for Fuel Cell Applications. *Biopolymer Electrolytes*, 56(32), 151–166. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-813447-4.00005-4>
- Surakusumah, D. P., & Rustandi, A. (2014). Studi Perbandingan Coating Primer Antara Epoxy Dengan Alkyd Serta Topcoat Antara Polyurethane Dengan Acrylic Menggunakan Metode Electrochemical Impedance Spectroscopy. *Universitas Indonesia*.
- Suryanto, B. H. R., & Zhao, C. (2016). Surface-oxidized carbon black as a catalyst for the water oxidation and alcohol oxidation reactions. *Chemical Communications*, 52(38), 6439–6442. <https://doi.org/10.1039/c6cc01319h>
- 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. <https://doi.org/10.1002/adma.201404622>
- Untari, Harsini, M., & Fahmi, M. Z. (2019). Pengaruh Komposisi Elektroda Pasta Karbon Nanopori/Ferosen Sebagai Sensor Voltammetri Hidrokuinon. *Jurnal Elektronik*, 9(1), 18–22.
- Visvanichkul, R., Puengjinda, P., Jiwanuruk, T., Peng-Ont, S., Sirimungkalakul, N., Ngampuengpis, W., Sornchamni, T., & Kim-Lohsoontorn, P. (2021). Fabrication using sequence wet-chemical coating and electrochemical performance of Ni–Fe-foam-supported solid oxide electrolysis cell for hydrogen production from steam. *International Journal of Hydrogen Energy*, 46(7), 4903–4916. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2020.11.064>
- Wahyono, Y., Sutanto, H., & Hidayanto, E. (2017). Produksi Gas Hydrogen Menggunakan Metode Elektrolisis Dari Elektrolit Air Dan Air Laut Dengan Penambahan Katalis Naoh. *Youngster Physics Journal*, 6(4), 353–359.
- Wang, Y., Liu, T., Lei, L., & Chen, F. (2017). High temperature solid oxide H₂O/CO₂ co-electrolysis for syngas production. *Fuel Processing Technology*, 161, 248–258. <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2016.08.009>
- Wisojodarmo, & Dewi. (2008). Pembuatan MEA. *Jurnal Hidrogen*. 2(4), 1-9.

- Wulandari, R., Zakir, M., Karim, A., Kimia, J., Matematika, F., Alam, P., & Jl, U. H. (2016). Penentuan Kapasitansi Spesifik Karbon Aktif Tempurung Kemiri (Alleurites Mollucana) Hasil Modifikasi Dengan HNO_3 , H_2SO_4 , Dan H_2O_2 Menggunakan Metode Cyclic Voltammetry. *Jurnal Indonesia*, 1–10. <https://core.ac.uk/download/pdf/77629397.pdf>
- Ye, L., Li, Z., Zhang, X., Lei, F., & Lin, S. (2014). One-step microwave synthesis of Pt (Pd)/ $\text{Cu}_2\text{O}/\text{GNs}$ composites and their electro-photo-synergistic catalytic properties for methanol oxidation. *Journal of Materials Chemistry A*, 2(48), 21010–21019. <https://doi.org/10.1039/c4ta05094k>
- Zhang, J., Li, X., Chen, H., Qi, M., Zhang, G., Hu, H., & Ma, X. (2017). Hydrogen production by catalytic methane decomposition: Carbon materials as catalysts or catalyst supports. *International Journal of Hydrogen Energy*, 42(31), 19755–19775. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2017.06.197>