

**ANALISIS PENGARUH LUAS PENAMPANG ELEKTRODA
TERHADAP EFISIENSI ENERGI PADA PROSES *WATER SPLITTING***

(Skripsi)

**Oleh
ANASTIAR INAYAH
2117041027**



**JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
2025**

ABSTRAK

ANALISIS PENGARUH LUAS PENAMPANG ELEKTRODA TERHADAP EFISIENSI ENERGI PADA PROSES *WATER SPLITTING*

Oleh

ANASTIAR INAYAH

Mendukung pengembangan energi alternatif yang ramah lingkungan, hidrogen menjadi salah satu kandidat bahan bakar masa depan yang potensial karena rendah emisi karbon dan dapat dihasilkan melalui proses elektrolisis air (*water splitting*). Agar produksi hidrogen melalui elektrolisis lebih efisien secara energi, optimalisasi komponen seperti luas penampang elektroda sangat penting yang dapat memengaruhi volume hidrogen dan efisiensi energi yang dihasilkan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi luas penampang elektroda terhadap volume gas hidrogen yang dihasilkan melalui proses *water splitting*, serta menganalisis efisiensinya. Proses elektrolisis dilakukan dengan menggunakan larutan kalium hidroksida (KOH) sebagai elektrolit untuk meningkatkan konduktivitas larutan. Jenis elektroda yang digunakan meliputi tembaga, karbon, dan stainless steel dengan variasi bentuk dan ukuran. Elektroda tembaga terdiri dari tiga jenis, yaitu tembaga tunggal berdiameter 1 mm, tembaga serabut kecil berdiameter 0,75 mm, dan tembaga serabut besar berdiameter 0,5 mm. Hasil penelitian menunjukkan bahwa elektroda tembaga serabut, baik kecil maupun besar, mampu menghasilkan volume gas hidrogen yang lebih tinggi dibandingkan tembaga tunggal pada seluruh rentang tegangan. Hal serupa juga ditunjukkan oleh elektroda stainless steel, di mana diameter 1,2 mm menghasilkan volume gas lebih besar dibandingkan diameter 0,5 mm. Secara umum, semakin besar luas penampang elektroda, semakin tinggi volume gas hidrogen yang dihasilkan karena luas permukaan reaksi yang lebih besar memungkinkan proses *water splitting* berlangsung lebih efisien. Dengan demikian, pemilihan elektroda dengan luas penampang yang lebih besar berpotensi meningkatkan efisiensi produksi hidrogen melalui proses elektrolisis air.

Kata Kunci : Hidrogen, Elektrolisis, Karbon, Tembaga, Stainless steel

ABSTRACT

ANALYSIS OF THE EFFECT OF ELECTRODE CROSS-SECTIONAL AREA ON ENERGY EFFICIENCY IN THE WATER SPLITTING PROCESS

By

ANASTIAR INAYAH

In support of the development of environmentally friendly alternative energy, hydrogen has become one of the most promising future fuel candidates due to its low carbon emissions and its potential to be produced through the electrolysis of water (water splitting). To make hydrogen production via electrolysis more energy-efficient, optimization of components such as the electrode cross-sectional area is crucial, as it can affect the volume of hydrogen produced and the overall energy efficiency. This study aims to investigate the effect of varying electrode cross-sectional areas on the volume of hydrogen gas produced through the water splitting process, as well as to analyze the energy efficiency. The electrolysis process was carried out using potassium hydroxide (KOH) solution as the electrolyte to enhance the conductivity of the solution. The types of electrodes used include copper, carbon, and stainless steel in various shapes and sizes. Copper electrodes consist of three types: single copper with a diameter of 1 mm, fine copper wire with a diameter of 0.75 mm, and coarse copper wire with a diameter of 0.5 mm. The results showed that both fine and coarse copper wire electrodes produced higher volumes of hydrogen gas compared to the single copper electrode across the entire voltage range. A similar trend was observed for stainless steel electrodes, where the 1.2 mm diameter produced more gas than the 0.5 mm diameter. In general, the larger the electrode cross-sectional area, the higher the volume of hydrogen gas produced, as the larger reactive surface area allows the water splitting process to occur more efficiently. Therefore, selecting electrodes with a larger cross-sectional area has the potential to improve hydrogen production efficiency through the water electrolysis process.

Keywords : Hydrogen, Electrolysis, Carbon, Copper, Stainless steel

**ANALISIS PENGARUH LUAS PENAMPANG ELEKTRODA
TERHADAP EFISIENSI ENERGI PADA PROSES *WATER SPLITTING***

Oleh

ANASTIAR INAYAH

Skripsi

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
SARJANA SAINS**

Pada

**Jurusan Fisika
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam**



**JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
2025**

Judul Penelitian : Analisis Pengaruh Luas Penampang Elektroda Terhadap Efisiensi Energi Pada Proses *Water Splitting*

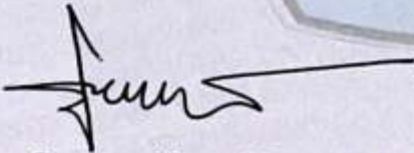
Nama Mahasiswa : Anastiar Inayah

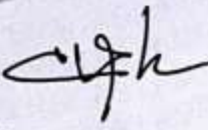
NPM : 2117041027

Jurusan : Fisika

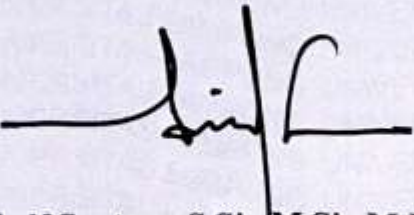
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam




Dr. Gurum Ahmad Pauzi, M.T.
NIP. 198010102005011002


Humairoh Ratu Ayu, S.Pd., M.Si.
NIP. 199011252019032018

2. Ketua Jurusan Fisika FMIPA

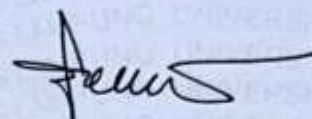

Arif Surtono S.Si., M.Si., M.Eng.
NIP. 197109092000121001

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

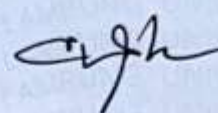
Ketua

: **Dr. Gurum Ahmad Pauzi, M.T.**



Sekretaris

: **Humairoh Ratu Ayu, S.Pd., M.Si.**



Penguji Bukan
Pembimbing

: **Drs. Amir Supriyanto, M.Si.**



2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



Dr. Eng. Heri Satria, S.Si., M.Si.

NIP. 197110012005011002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : **23 Juni 2025**

PERNYATAAN

Dengan ini saya Anastiar Inayah NPM. 2117041027 menyatakan bahwa skripsi saya yang berjudul:

"Analisis Pengaruh Luas Penampang Elektroda Terhadap Efisiensi Energi Pada Proses Water Splitting" adalah hasil karya saya sendiri. Semua sumber data dan referensi yang digunakan dalam penulisan skripsi ini telah disebutkan dengan benar sesuai dengan kaidah akademik. Saya juga menyatakan bahwa skripsi ini belum pernah diajukan sebelumnya untuk memperoleh gelar akademik di universitas atau institusi manapun.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenar – benarnya, dan saya bersedia menanggung segala akibat apabila di kemudian hari ditemukan adanya pelanggaran terhadap pernyataan ini.

Bandar Lampung, 23 Juni 2025

Penulis



Anastiar Inayah

NPM. 2117041027

RIWAYAT HIDUP



Anastiar Inayah adalah putri dari pasangan Sujarwo dan Surtiasih, lahir di Bandar Lampung, 18 September 2003. Penulis berasal dari Kecamatan Tanjung Karang Timur, Kota Bandar Lampung. Pendidikan dasar ditempuh di SDN 4 Sawah Lama lulus pada tahun 2015. Selanjutnya melanjutkan ke SMP Negeri 12 Bandar Lampung (2015–2018), lalu ke SMAS Muhammadiyah 2 Bandar Lampung (2018–2021). Pada tahun

2021, penulis diterima sebagai mahasiswa Program Studi Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung.

Selama masa studi, penulis menjalani Praktik Kerja Lapangan (PKL) di BRIN (Badan Riset dan Inovasi Nasional) – Pusat Riset Energi Baru Terbarukan, dengan judul **”Pengaruh Ketahanan Panel Surya Terhadap Uji Paparan Luar Ruangan (Outdoor Exposure) Dengan Metode Sesuai Standar IEC61215 – Brin Serpong”** Judul skripsi yang diambil saat ini adalah **”Analisis Pengaruh Luas Penampang Elektroda Terhadap Efisiensi Energi Pada Proses *Water Splitting*”** dengan pembimbing Bapak Dr. Gurum Ahmad Pauzi, S.Si., M.T. dan ibu Humairoh Ratu Ayu, S.Pd., M.Si. Penulis memiliki ketertarikan dalam bidang energi baru terbarukan, khususnya di bidang lingkungan dan energi.

MOTTO

"Sesungguhnya bersama kesulitan ada kemudahan."

-(Q.S. Al-Insyirah: 6)

"Allah tidak membebani seseorang melainkan sesuai dengan kemampuannya"

-QS. Al-Baqarah: 286

"The only way to do great work is to love what you do."

-Steve Jobs

PERSEMBAHAN

Dengan penuh rasa syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa, saya persembahkan skripsi ini kepada:

Bapak Sujarwo dan Ibu Surtiasih

Kedua orang tua saya yang selalu memberikan dukungan serta doa yang tiada hentinya untuk kesuksesan putrinya

Bapak/Ibu Dosen Fisika FMIPA UNILA

Terima kasih telah memberikan bekal ilmu pengetahuan, nasihat, dan saran yang membangun hati dan pikiran agar saya menjadi lebih baik

Lusia Prastica dan Nikmah Turohmah

Kedua sahabat saya yang telah memberikan dukungan doa dan motivasi sehingga membuat saya mampu menyelesaikan pendidikan S1

Rekan-rekan seperjuangan Fisika Angkatan 2021

Terima kasih telah untuk kebersamaan selama kuliah yang sangat berarti dan menjadi kenangan yang tidak terlupakan.

Serta

Almamater Tercinta
UNIVERSITAS LAMPUNG

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa atas rahmat dan karunia-Nya sehingga skripsi berjudul “**Analisis Pengaruh Luas Penampang Elektroda Terhadap Efisiensi Energi Pada Proses *Water Splitting***” ini dapat diselesaikan. Skripsi ini membahas proses elektrolisis air (*water splitting*) sebagai salah satu metode produksi hidrogen yang ramah lingkungan, dengan fokus pada pengaruh luas penampang elektroda terhadap volume gas hidrogen yang dihasilkan serta efisiensi energi sistem. Penelitian ini dilakukan menggunakan berbagai jenis dan ukuran elektroda, yaitu tembaga, karbon, dan *stainless steel*, yang direndam dalam larutan elektrolit kalium hidroksida (KOH) untuk meningkatkan konduktivitas listrik. Data diperoleh melalui pengukuran volume gas dan perhitungan efisiensi energi, dengan hasil yang menunjukkan bahwa elektroda dengan luas penampang lebih besar cenderung menghasilkan volume gas hidrogen lebih tinggi secara lebih efisien.

Skripsi ini disusun sebagai syarat memperoleh gelar Sarjana Sains (S.Si) pada Program Studi Fisika, Fakultas MIPA, Universitas Lampung. Penulis menyadari adanya keterbatasan dalam penyusunan ini, sehingga kritik dan saran sangat diharapkan. Semoga skripsi ini bermanfaat bagi pengembangan ilmu dan menjadi rujukan bagi penelitian selanjutnya.

Bandar Lampung, 23 Juni 2025
Penulis

Anastiar Inayah

SANWACANA

Puji dan syukur saya haturkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa, karena atas limpahan rahmat dan karunia-Nya, saya dapat menyelesaikan skripsi. Shalawat serta salam semoga selalu tercurahkan kepada Nabi Muhammad SAW.

Skripsi dengan judul “**Analisis Pengaruh Luas Penampang Elektroda Terhadap Efisiensi Energi Pada Proses *Water Splitting***” merupakan hasil dari rangkaian penelitian yang saya lakukan sebagai bagian dari syarat untuk menyelesaikan studi di Program Studi Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung.

Dalam kesempatan ini penulis mengucapkan terimakasih kepada:

1. Dr. Gurum Ahmad Pauzi, S.Si., M.T. selaku pembimbing I dalam penulisan skripsi ini yang telah memberikan pengarahan dan bimbingan kepada penulis.
2. Humairoh Ratu Ayu, S.Pd., M.Si. selaku pembimbing II dalam penulisan skripsi ini yang telah memberikan pengarahan dan bimbingan kepada penulis.
3. Drs. Amir Supriyanto, M.Si. selaku pembahas atas ketersediannya untuk memberikan bimbingan, waktu, saran, dan kritik kepada penulis dalam proses penyelesaian skripsi ini.
4. Arif Surtono, S.Si., M.Si., M.Eng. selaku ketua jurusan Fisika FMIPA.
5. Drs. Pulung Karo Karo, M.Si. selaku dosen pembimbing akademik.
6. Bapak dan Ibu Dosen jurusan Fisika yang telah memberikan ilmu pengetahuan dan keteladanan selama penulis menjalani studi.
7. Dr. Eng. Heri Satria, S.Si., M.Si. selaku dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung.
8. Prof. Dr. Ir. Lusmeilia Afriani, D.E.A., I.P.M., ASEAN Eng. Selaku rektor Universitas Lampung.

9. Terima kasih yang sebesar-besarnya saya sampaikan kepada orang tua saya, Bapak Sujarwo dan Ibu Surtiasih, S.Pd., serta kakak dan adik tercinta, atas segala doa, dorongan, dan motivasi yang tak pernah henti. Dukungan kalian adalah sumber kekuatan terbesar dalam menyelesaikan kuliah ini. Tanpa cinta dan keikhlasan kalian, langkah ini tak akan sampai sejauh ini.
10. Terima kasih yang tulus saya sampaikan kepada Gufron Zaidan At., partner terbaik yang telah mendampingi dengan penuh kesabaran. Dukungan, semangat, dan motivasimu menjadi kekuatan besar dalam proses penelitian hingga penulisan skripsi ini. Terima kasih telah hadir dan membantu dalam setiap langkah perjuangan ini.
11. Kepada dua wanita cantik, Lusia dan Nikmah dua sahabat yang tak hanya cantik luar dalam, tetapi juga selalu mengusahakan kebersamaan selama perjalanan perkuliahan ini. Terima kasih atas kebersamaan, tawa, pelukan hangat saat duka, dan semangat yang tak pernah padam di setiap langkah kita. Terima kasih karena kita telah melewati semua suka dan duka bersama, dan akhirnya berhasil menyelesaikan “misi perkuliahan” ini dengan penuh kebanggaan.
12. Kepada Salma, Shinta, dan Kinanta yang telah menjadi bagian penting dalam pertumbuhan hidup saya. Kehadiran kalian bukan hanya sebagai teman bermain di masa lalu, tetapi juga sebagai pendengar setia di saat bimbang, dan penyemangat di kala lelah menghadapi tantangan akademik. Terima kasih telah tumbuh bersama saya, dari halaman rumah hingga ke halaman-halaman skripsi ini.
13. Terima kasih kepada Shela dan sahabat semasa SMA atas segala tawa yang pernah kita bagi, air mata yang pernah kita seka bersama, serta semangat yang tak pernah padam kau tularkan.
14. Terima kasih saya sampaikan kepada seluruh teman-teman angkatan 2021 yang telah menjadi bagian dari perjalanan penuh warna selama masa perkuliahan. Terima kasih atas kebersamaan, kerja sama, canda tawa, serta semangat yang saling menguatkan di setiap fase perjuangan.
15. Terima kasih untuk diriku sendiri yang telah bertahan, berjuang, dan tidak menyerah meskipun berkali-kali ingin berhenti. Terima kasih telah tetap melangkah meski dalam lelah, tetap percaya saat ragu, dan terus mencoba walau

tak selalu mudah. Perjalanan ini tidak singkat dan tidak ringan, tapi aku berhasil sampai di titik ini. Untuk semua air mata, tawa, dan malam-malam penuh usaha aku bangga padamu.

Akhir kata penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan. Penulis berharap semoga skripsi yang sederhana ini dapat berguna dan bermanfaat bagi banyak pihak yang membacanya.

Bandar Lampung, 23 Juni 2025
Penulis

Anastiar Inayah

DAFTAR ISI

	Halaman
ABSTRAK	i
<i>ABSTRACT</i>	ii
LEMBAR PESETUJUAN	iv
LEMBAR PENGESAHAN	v
PERNYATAAN	vi
RIWAYAT HIDUP	vii
MOTTO	viii
PERSEMBAHAN	ix
KATA PENGANTAR	x
SANWANCANA	xi
DAFTAR ISI	xiv
DAFTAR GAMBAR	xvi
DAFTAR TABEL	xvii
I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang Masalah	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Manfaat Penelitian	4
1.5 Batasan Masalah	5
II. TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Penelitian Terkait	6
2.2 Konsep Dasar <i>Water Splitting</i>	8
2.3 Jenis Elektroda	10
2.4 Elektrolisis	12
2.5 <i>Gas Hydrogen</i>	14

2.6	Hukum Faraday.....	16
III.	METODE PENELITIAN	19
3.1	Waktu dan Tempat	19
3.2	Alat dan Bahan Penelitian	20
3.3	Prosedur Penelitian.....	20
3.4	Rancangan Data Hasil Penelitian.....	23
3.5	Rancangan Analisis Data Pengamatan.....	26
IV.	HASIL DAN PEMBAHASAN	27
4.1	Realisasi Alat Pengujian Elektrolisis	27
4.2	Analisis Hasil Pengujian Elektroda terhadap Efisiensi Energi	28
4.3	Analisis Penurunan Arus Aktual pada Sel Elektrolisis	41
V.	SIMPULAN DAN SARAN.....	44
5.1	Simpulan.....	44
5.2	Saran.....	44
	DAFTAR PUSTAKA	46
	LAMPIRAN	

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
2.1 Tembaga	11
2.2 Stainless steel (Baddoo, 2008)	12
2.3 Proses elektrolisis (Fitriyanti, 2019)	13
3.1 Diagram alir penelitian.....	21
3.2 Perancangan alat elektrolisis	23
3.3 Grafik hubungan tegangan terhadap volume hidrogen	26
3.4 Grafik hubungan tegangan dengan efisiensi energi	26
4.1 Realisasi alat.....	28
4.2 Hasil volume hidrogen terhadap efisiensi energi elektroda tembaga tunggal diameter 1 mm	32
4.3 Hasil volume hidrogen terhadap efisiensi energi elektroda tembaga serabut diameter 0,5 mm	33
4.4 Hasil volume hidrogen terhadap efisiensi energi elektroda tembaga serabut diameter 0,75 mm	35
4.5 Hasil volume hidrogen terhadap efisiensi energi elektroda <i>stainless steel</i> 0,5 diameter mm	37
4.6 Hasil volume hidrogen terhadap efisiensi energi elektroda <i>stainless steel</i> diameter 1,2 mm	38
4.7 Hasil volume hidrogen terhadap efisiensi energi elektroda karbon diameter 4 mm	39
4.8 Grafik volume gas hidrogen pada tegangan 15 volt.....	40
4.9 Arus keluaran pada setiap elektroda	42

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
3. 1 Jadwal pelaksanaan penelitian	19
3. 2 Alat penelitian	20
3. 3 Bahan penelitian.....	20
3. 4 Rancangan hasil penelitian.....	24
4. 1 Hasil volume gas hidrogen dan efisiensi energi setiap elektroda	29

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Energi merupakan salah satu faktor penting pencapaian pembangunan berkelanjutan (Khan *et al.*, 2020). Sumber energi dunia sudah mengalami beberapa kali perubahan, dari yang awalnya mayoritas menggunakan biomassa seperti kayu bakar untuk memenuhi kebutuhan energinya, berubah menjadi fosil seperti batu bara, minyak dan gas bumi yang dipicu revolusi industri pada tahun 1900-an. Sumber daya yang menggunakan energi fosil pada akhirnya memberikan kontribusi dari emisi karbon yang dihasilkan (Danish *et al.*, 2019). Masalah terkait krisis akan energi dan pencemaran lingkungan akibat penggunaan energi fosil memberikan dampak masalah lingkungan (Apergis & Payne, 2010). Dunia menghadapi kesulitan beberapa dekade terakhir dalam mencari solusi terkait menyeimbangkan proses perekonomian yang berkelanjutan sekaligus menjaga kelestarian lingkungan (Xiong & Xu, 2021). Pemanasan global yang diakibatkan oleh emisi karbon dari bahan bakar fosil mendorong kebutuhan untuk transisi ke bahan bakar rendah karbon, seperti *Hydrogen* (Holladay *et al.*, 2009). Hidrogen yang dihasilkan dari *water splitting* dapat memainkan peran penting dalam transisi energi bersih untuk mengatasi krisis iklim (Haris & Okta, 2024).

Hidrogen dapat digunakan sebagai bahan bakar pembangkit listrik dengan menghasilkan emisi yang sangat minim, bahkan hampir nol, karena hasil akhirnya hanya berupa air (H_2O). Oleh karena itu, bahan bakar hidrogen dianggap sebagai energi yang ramah lingkungan (Arzaqa & Kawano, 2013). Hidrogen dapat dijadikan sebagai bahan bakar bagi pembangkitan listrik dalam rumah tangga dalam bersama dengan oksigen menggunakan suatu unit yang dinamakan *Hydrogen fuelcell*. Energi hidrogen berpotensi untuk menjadi sumber energi listrik yang dapat

bersih, efisien, dan berkelanjutan (Agita & Rahmah, 2023). *Fuel cell* memiliki potensi untuk efisiensi tinggi dan dapat mengubah sampai 75 persen energi pada bahan bakar alam (Madury *et al.*, 2014). Hidrogen bersih, khususnya *green* dan *blue Hydrogen*, dapat diproduksi melalui proses elektrolisis yang bekerja dengan mengaliri air atau larutan lainnya yang mengandung ion hidrogen dengan arus listrik yang akan memisahkan H^+ dengan senyawa yang mengikatnya di awal. Produksi hidrogen dari air dengan cara elektrolisis dianggap lebih mudah dan lebih sederhana dibanding metode yang lain (Lestari *et al.*, 2022). Elektrolisis air adalah peristiwa penguraian senyawa air (H_2O) menjadi gas hidrogen (H_2) dan oksigen (O_2) dengan menggunakan arus listrik. Proses elektrolisis termasuk reaksi oksidasi dan reduksi yang tidak spontan sehingga diperlukan arus listrik pada prosesnya. Arus listrik yang dialirkan pada elektroda positif (anoda) dan elektroda negatif (katoda) akan menyebabkan timbulnya beda potensial dan mengionisasi molekul air menjadi ion positif dan ion negatif (Erlinawati *et al.*, 2014).

Pemilihan elektroda yang tepat dapat mengoptimalkan efisiensi kerja dalam elektrolisis air. (Gani *et al.*, 2021). Elektroda berfungsi sebagai penghantar arus listrik dari sumber tegangan ke elektrolit yang akan dielektrolisis (Lestari *et al.*, 2022). Material serta luasan elektroda yang digunakan sangat berpengaruh terhadap gas hasil proses elektrolisis air. Sehingga material elektroda harus dipilih dari material yang memiliki konduktivitas listrik dan ketahanan terhadap korosi yang baik. Elektroda ada dua macam, yaitu *inert* (sangat sukar bereaksi) dan *non inert* (bereaksi). Elektroda *inert* meliputi Karbon (C), Emas (Au), dan Platina (Pt). Elektroda *inert* tidak akan ikut teroksidasi di *anode*. Contoh elektroda *non-inert* seperti: Tembaga (Cu), seng (Zn), Besi (Fe) dan lain-lain (Wiyati, 2020).

Parameter yang mempengaruhi jumlah gas *Hydrogen* yaitu jenis elektroda, luas penampang elektroda dan variasi ukuran elektroda. Pada penelitian – penelitian yang telah menggunakan variasi bahan elektroda aluminium dan *stainless steel* (Arifin *et al.*, 2015) elektroda grafit dan karbon (Yuvaraj *et al.*, 2014). Selain itu terdapat penelitian terkait menggunakan variasi luas penampang pada (Wahyono & Roihatin, 2016) dan ketebalan bahan elektroda (Sopandi *et al.*, 2015). Bentuk dan ukuran dari elektroda terhadap efektifitas kerja dari H_2O (Arifin *et al.*, 2015).

Berdasarkan dari ketebalan bahan elektroda *stainless steel*, besarnya daya, mempengaruhi peningkatan efisiensi pada elektrolisis H₂O (Sopandi *et al.*, 2015). Elektroda tembaga dan aluminium mudah terjadinya degradasi dan dapat menghambat proses produksi gas *Hydrogen* (Fazlunazar *et al.*, 2020). Efisiensi produksi gas hidrogen jauh lebih tinggi pada elektroda grafit. Ini dapat terjadi karena lapisan yang melapisi elektroda grafit memiliki sifat bahan yang berpori sehingga dapat meningkatkan difusi molekul air tanpa adanya penyumbatan (Yuvaraj *et al.*, 2014). Luas penampang electrode yang digunakan berpengaruh terhadap besar arus yang dihasilkan (Anisa & Setyaningrum, 2022). Variasi ukuran alat elektrolisis H₂O mempengaruhi efektivitas dari elektrolisis H₂O, semakin besar luas penampangnya maka semakin banyak volume gas yang dihasilkan dengan membutuhkan energi listrik yang lebih besar (Fitriyanti, 2019).

Berdasarkan latar belakang tersebut, pada penelitian ini digunakan variasi luas penampang dan jenis elektroda, yaitu tembaga tunggal, tembaga serabut, *stainless steel* dan karbon, dengan konsentrasi KOH 1 M dalam metode elektrolisis untuk membandingkan efisiensi energi yang dihasilkan pada proses elektrolisis. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis bagaimana variasi luas penampang dan jenis elektroda dapat memengaruhi distribusi arus listrik. Menggunakan pendekatan berbasis eksperimen, penelitian ini juga berupaya mengevaluasi hubungan antara parameter fisik elektroda dan kinerja keseluruhan proses *water splitting*. Hasil penelitian ini diharapkan memberikan kontribusi signifikan dalam optimalisasi desain elektroda, sehingga mendukung pengembangan teknologi energi hidrogen yang lebih efisien, berkelanjutan, dan ramah lingkungan. Temuan-temuan dari penelitian terdahulu juga dapat menjadi dasar untuk pengembangan sistem elektrolisis skala laboratorium maupun industri yang lebih hemat energi. Pemahaman terhadap karakteristik masing-masing elektroda akan membantu dalam pemilihan material yang tepat untuk aplikasi energi alternatif di masa depan. Penelitian ini diharapkan mampu memberikan pemahaman yang lebih mendalam mengenai faktor-faktor yang memengaruhi efisiensi proses elektrolisis dalam produksi hidrogen.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, adapun rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Bagaimana pengaruh luas penampang elektroda terhadap volume gas hidrogen yang dihasilkan dalam proses *water splitting*?
2. Bagaimana pengaruh variasi luas penampang elektroda terhadap efisiensi energi?
3. Berapa luas penampang dan jenis elektroda yang optimal untuk menghasilkan efisiensi energi terbaik dalam proses *water splitting*?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Mengetahui pengaruh luas penampang elektroda terhadap volume gas hidrogen yang diberikan pada proses *water splitting* .
2. Mengetahui pengaruh variasi luas penampang elektroda terhadap efisiensi energi.
3. Mengetahui ukuran luas penampang dan jenis elektroda yang optimal untuk menghasilkan efisiensi energi terbaik dalam proses *water splitting*.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Memberikan panduan untuk desain elektroda yang lebih efisien dalam teknologi *water splitting*
2. Mendukung pengembangan sistem produksi hidrogen yang lebih hemat energi untuk aplikasi energi terbarukan.

1.5 Batasan Masalah

Batasan-batasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Penelitian hanya memfokuskan pada pengaruh luas penampang elektroda terhadap efisiensi proses elektrolisis, volume gas yang dihasilkan, dan laju produksi gas.
2. Menggunakan elektroda dengan bentuk dan bahan yang berbeda, dengan memiliki luas penampang berbeda.
3. Menggunakan larutan elektrolit yang larutan KOH dengan konsentrasi tetap (1M).
4. Menggunakan tegangan listrik yang konstan selama proses berlangsung, tanpa memvariasikan arus atau tegangan.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terkait

Penelitian ini merupakan pengembangan penelitian-penelitian sebelumnya. Beberapa penelitian terkait mengenai optimalisasi produksi gas *Hydrogen* dan oksigen pada proses *water splitting* yang dapat digunakan sebagai acuan penelitian agar kemudian dapat dikembangkan kembali untuk penelitian yang akan datang. Sebelumnya penelitian yang dilakukan oleh Fitriyanti (2021) mengenai pengaruh luas permukaan elektroda dengan penambahan PWM *controller* terhadap efisiensi produksi gas *Hydrogen* pada proses elektrolisis. Variasi ukuran alat elektrolisis H₂O mempengaruhi efektivitas dari elektrolisis H₂O, semakin besar luas penampangnya maka semakin banyak volume gas yang dihasilkan dengan membutuhkan energi listrik yang lebih besar. Perbandingan antara besarnya ukuran elektroda harus seimbang dengan daya yang digunakan. Besarnya daya dapat menurunkan efektifitas kerja alat karena berkaitan dengan besarnya biaya operasional dari alat yang dihasilkan. Efisiensi yang terbaik didapatkan dengan daya 36 watt dengan nilai efisiensinya sebesar 8,127% (Fitriyanti, 2021).

Penelitian terkait yang dilakukan oleh Wahyono dan Anies (2016) mengenai pembuatan alat produksi gas *Hydrogen* dan oksigen tipe *wett cell* dengan variasi luas penampang. Konsentrasi larutan elektrolit dan luas penampang berbanding lurus dengan daya yang dihasilkan, sedangkan efisiensi berbanding terbalik dengan daya. Ketika daya yang dihasilkan semakin besar maka efisiensi *elektrolizer* semakin kecil namun ketika di aplikasikan pada grafika tidak menunjukkan hal tersebut hal ini karena efisiensi tidak hanya dipengaruhi oleh daya tetapi juga dapat

dipengaruhi oleh energi panas yang dihasilkan yang berbanding lurus dengan laju Gas HHO (Wahyono & Roihatin, 2016).

Penelitian terkait yang dilakukan oleh Putra (2010) mengenai analisi produktifitas gas *Hydrogen* dan gas oksigen pada elektrolisis larutan KOH. Konsentrasi larutan merupakan nilai kepekatan kandungan zat atau senyawa yang dilarutkan ke dalam air. Semakin banyak zat atau senyawa yang dilarutkan ke dalam air maka akan semakin pekat larutan tersebut. Semakin pekat larutan KOH maka akan membuat besarnya hambatan listrik pada larutan akan semakin kecil dan akan mendekati nol. Gejala ini berarti menunjukkan semakin besar konsentrasi larutan ketika proses elektrolisis maka semakin besar pula volume gas yang dihasilkan. Sehingga untuk menghasilkan H, dan O, dalam jumlah yang banyak hal yang harus dilakukan adalah dengan memperbesar konsentrasi larutan. Begitu pula dengan arus. Besarnya arus sangat mempengaruhi proses terjadinya elektrolisis. Arus yang pada umumnya kurang dari 1 A sangat sulit dijumpai gelembung-gelembung yang muncul pada permukaan elektroda. Semakin besar arus yang diberikan maka semakin cepat munculnya gelembung-gelembung di permukaan elektroda. Gejala ini berarti menunjukkan semakin besar arus yang diberikan ketika proses elektrolisis maka semakin besar pula volume gas yang dihasilkan. Sehingga untuk menghasilkan H, dan O dalam jumlah yang banyak hal yang harus dilakukan adalah dengan memperbesar arus (Putra, 2010).

Penelitian terkait yang dilakukan oleh Fatmi *et al.*, (2012) mengenai pemecahan (*splitting*) molekul air menjadi gas *Hydrogen* dan oksigen melalui proses fotovoltaiik. Pasangan elektroda CuO /C dengan elektrolit Na₂SO₄ dapat digunakan pada sel fotovoltaiik. Konsentrasi elektrolit Na₂SO₄ optimum pada 0,8 N dan elektroda CuO optimum yaitu elektroda II yang telah dibakar sebanyak 3x selama 1 jam pada suhu 400°C Kuat arus dan tegangan yang dihasilkan dipengaruhi lamanya proses fotovoltaiik sehingga elektroda CuO/C yang digunakan hanya efektif untuk 9 hari berturut-turut. Besarnya efisiensi yang dihasilkan dari proses fotovoltaiik adalah 2,66%. Volume gas H₂ yang terbentuk pada sel fotovoltaiik dibandingkan dengan gas O₂ yang terbentuk mendekati 2:1 (Fatmi *et al.*, 2012).

Penelitian yang dilakukan oleh Wahyono *et al.*, (2017) mengenai produksi gas *Hydrogen* menggunakan metode elektrolisis dari elektrolit air dan air laut dengan penambahan katalis NaOH. Produksi gas H₂ dengan konsentrasi tertinggi diperoleh pada elektrolisis aqua DM + NaCl + NaOH dengan tegangan 12 volt 4500 ppm. Produksi gas H₂ pada elektrolisis aqua DM, aqua DM + NaCl, dan aqua DM + NaOH tidak terdeteksi adanya gas pencemar seperti CO, CO₂, HC, NO yang terdeteksi hanya gas oksigen (O₂) secara berurutan nilainya 20,92 %vol, 21,04 %vol, dan 21,11 %vol (Wahyono *et al.*, 2017).

Penelitian terkait dilakukan oleh Supiah (2010) mengenai perilaku sel elektrolisis air dengan *elektroda* . Berdasarkan data variasi temperatur dan pH dalam selang waktu tertentu (900 detik) dengan menggunakan tegangan tertentu (12 V) menunjukkan bahwa masing-masing sistem memiliki perilaku yang berbeda. Hal ini terlihat dari pola termogram yang menunjukkan kecenderungan yang berbeda.; dan kurva pH terhadap waktu yang berbeda pula. Meningkatnya konsentrasi elektrolit berpengaruh terhadap perilaku sel *elektrolisis* air, makin tinggi konsentrasi elektrolit, perubahan temperatur makin besar pada selang waktu tertentu; demikian juga pengaruhnya terhadap harga pH larutan, konsentrasi elektrolit makin meningkat harga pH di ruang anoda makin bervariasi; tetapi harga pH lebih bervariasi terjadi pada ruang katoda. Perbedaan termogram dan kurva pH selama proses *elektrolisis* menunjukkan bahwa terdapat jenis atau kuantitas kation dan anion yang tidak sama (Supiah, 2010).

2.2 Konsep Dasar *Water Splitting*

Water splitting adalah teknologi yang bertujuan memecah molekul air (H₂O) menjadi hidrogen (H₂) dan oksigen (O₂) menggunakan energi. Proses ini menjadi pusat perhatian dalam penelitian energi terbarukan karena hidrogen merupakan sumber energi yang bersih dan dapat diperbarui. Hidrogen yang dihasilkan dari *water splitting* dapat digunakan sebagai bahan bakar dalam sel bahan bakar (*fuel cells*), yang hanya menghasilkan air sebagai produk sampingan. Berbagai metode telah dikembangkan untuk melakukan *water splitting*, yakni sebagai berikut.

1. Elektrolisis Konvensional: Metode ini menggunakan arus listrik untuk memecah air di dalam sel elektrolisis. Elektrolisis dilakukan di dalam media elektrolit, yang dapat berupa larutan asam, basa, atau air murni dengan bantuan membran penukar ion.
2. Elektrolisis Berbasis Fotokatalis: Pada metode ini, sinar matahari digunakan sebagai sumber energi untuk mengaktifkan fotokatalis yang memicu reaksi pemisahan air. Material semikonduktor seperti titanium dioksida (TiO_2) sering digunakan sebagai fotokatalis.
3. Elektrolisis Berbasis Elektrokatalis: Metode ini meningkatkan efisiensi reaksi menggunakan bahan-bahan elektrokatalis yang dapat menurunkan tegangan overpotensial, sehingga energi yang dibutuhkan untuk proses ini menjadi lebih rendah.
4. Proses Termokimia: Menggunakan suhu tinggi (sering kali dari reaktor nuklir atau sinar matahari terkonsentrasi) untuk memecah air secara langsung atau melalui reaksi kimia bertingkat.

Elektrokatalis memegang peranan penting dalam menurunkan energi aktivasi proses elektrolisis. Penelitian terkini banyak difokuskan pada pengembangan bahan elektrokatalis berbasis logam transition seperti platinum (Pt), iridium (Ir), dan bahan yang lebih murah seperti nikel (Ni) serta oksida logam campuran. Efisiensi elektrokatalis menentukan seberapa rendah tegangan yang diperlukan untuk memulai dan mempertahankan proses pemisahan air. Beberapa tantangan utama dalam pengembangan teknologi *water splitting* meliputi efisiensi energi yang berupaya mengurangi tegangan overpotensial agar proses lebih hemat energi. Biaya produksi penggunaan material katalis yang langka dan mahal, seperti platinum dan *iridium*, meningkatkan biaya produksi hidrogen. Stabilitas material perlu adanya bahan katalis yang stabil dalam kondisi reaksi yang keras, seperti lingkungan asam atau basa.

Pemisahan air total terbagi menjadi dua reaksi setengah, yaitu reaksi evolusi hidrogen katodik (*Hydrogen Evolution Reaction*/HER) dan reaksi evolusi oksigen anodik (*Oxygen Evolution Reaction*/OER) (Natasha *et al.*, 2024). Di antara keduanya, OER melibatkan proses transfer empat elektron, yang merupakan reaksi

transfer elektron yang terhubung dengan proton (*proton-coupled electron transfer*) yang kompleks. Reaksi ini terbatas secara kinetik dan membutuhkan overpotensial yang besar untuk dapat berlangsung. Hal ini sangat membatasi penerapan pemisahan air total (Koper, 2011). OER telah banyak dipelajari baik dalam elektrolizer berbasis alkali maupun asam. Secara umum, mekanisme OER yang diakui adalah mekanisme evolusi adsorbat (*Adsorbate Evolution Mechanism/AEM*)(Zhao *et al.*, 2023).

2.3 Jenis Elektroda

Elektroda memegang peranan kunci dalam proses *water splitting*, karena menjadi tempat berlangsungnya reaksi oksidasi dan reduksi yang mendasari pemisahan air menjadi hidrogen dan oksigen. Karakteristik elektroda, seperti material penyusun, luas penampang, konduktivitas listrik, dan kestabilan terhadap korosi, sangat memengaruhi efisiensi energi dan kinetika reaksi elektrokimia. Pada penelitian ini, fokus diarahkan pada analisis pengaruh luas penampang elektroda terhadap efisiensi energi, dengan mempertimbangkan bahwa luas permukaan elektroda tidak hanya menentukan jumlah situs aktif untuk reaksi elektrokimia tetapi juga memengaruhi distribusi arus listrik dan hambatan ohmik dalam sistem. Dalam penelitiannya (Qiao, 2019) membahas bahwa aktivitas elektrokatalitik intrinsik suatu katalis, termasuk logam oksida, sangat bergantung pada luas permukaan elektroda yang digunakan. Luas permukaan yang lebih besar meningkatkan adanyaketersediaan situs aktif untuk reaksi elektrokimia dan efisiensi keseluruhan sistem. Kemudian Luas penampang yang lebih besar membantu mendistribusikan arus listrik secara lebih merata di sepanjang permukaan elektroda. Hal ini penting untuk menghindari konsentrasi arus yang dapat menyebabkan korosi atau degradasi elektroda pada titik-titik tertentu. Dengan luas permukaan yang lebih besar, kinetika reaksi elektrokimia dapat ditingkatkan karena lebih banyak molekul atau ion dapat berinteraksi secara bersamaan dengan elektroda. Dalam konteks desain sel elektrolisis, pemilihan elektroda dengan luas permukaan yang optimal adalah kunci

untuk mencapai efisiensi maksimum, terutama pada aplikasi berskala besar seperti produksi hidrogen.

Jika dilihat dari sifat konduktivitas listrik, ada beberapa jenis elektroda yang memiliki konduktivitas listrik dan sifat kimia lebih baik dari logam Al seperti tembaga (Cu) dan platina (Pt) (Jumriadi *et al.*, 2023). Tembaga (Cu) adalah logam dengan nomor atom 29, massa atom 63,546, titik lebur 1083°C, titik didih 2310 °C, jari-jari atom 1,173 Å dan jari-jari ion Cu²⁺ 0,96 Å. Tembaga adalah logam transisi (golongan I B) yang berwarna kemerahan, mudah regang dan mudah ditempa. Terdapat gambar tembaga yang ditunjukkan pada **Gambar 2.1**.



Gambar 2. 1 Tembaga

Proses *elektroplating* yang digunakan adalah tembaga. Tembaga mempunyai sifat lunak dan ulet, tidak terlalu teroksidasi oleh udara. Karena sifatnya yang elektropositif (mulia), tembaga mudah diendapkan oleh logam yang deret daya gerak listriknya lebih tinggi. Plating tembaga mudah dilakukan begitu juga dengan larutannya yang mudah dikontrol. Tembaga merupakan logam yang mudah ditempa dan bersifat mulur sehingga mudah dibentuk menjadi yang diinginkan, serta merupakan konduktor panas yang baik (Putri & Handani, 2015).

Efisiensi kerja elektroda dalam proses elektrolisis air dapat dioptimalkan melalui pemilihan jenis elektroda yang tepat. Elektroda yang baik adalah elektroda yang tahan terhadap korosi sehingga mampu bekerja lebih lama. Elektroda yang umum digunakan untuk proses elektrolisis yaitu elektroda yang terbuat dari logam mulia seperti emas dan platinum. Namun emas dan platinum ditinjau dari segi harga termasuk logam yang mahal. Penggunaan logam selain platinum dapat menjadi ada

salah satu alternatif baru namun kurang efektif, baik dari segi efisiensi produk maupun ketahanan dari korosi terutama jika digunakan sebagai anoda. *Stainless steel* digunakan secara luas di berbagai bidang karena ketahanan korosi yang baik serta sifat mekaniknya (Gani *et al.*, 2021). Terdapat gambar *stainless steel* yang ditunjukkan pada **Gambar. 2.2**.



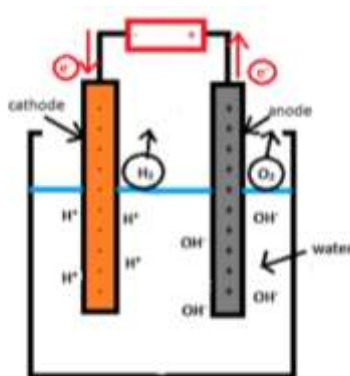
Gambar 2. 2 *Stainless steel* (Baddoo, 2008)

Stainless steel tergolong murah dan mudah diperoleh, dan dapat digunakan sebagai elektroda pada proses elektrolisis air karena adanya sifat tahan terhadap korosi. Kemampuan tahan terhadap korosi dalam media berair berkaitan dengan kemampuannya untuk membentuk lapisan oksida pelindung yang diperkaya lapisan kromium (Okazaki & Gotoh, 2008). Namun, lapisan oksida tersebut mengalami kerusakan di lingkungan yang mengandung klor yang menyebabkan inisiasi yang disebut korosi sumuran (pitting) (Taveira *et al.*, 2005). Logam selain platinum seperti *stainless steel* dalam penggunaannya sebagai elektroda dapat dioptimalkan dengan meningkatkan aktivitas katalitiknya.

2.4 Elektrolisis

Elektrolisis air adalah peristiwa penguraian senyawa air (H_2O) menjadi gas hidrogen (H_2) dan oksigen (O_2) dengan menggunakan arus listrik yang melalui air. Proses elektrolisis termasuk reaksi oksidasi dan reduksi yang tidak spontan sehingga diperlukan arus listrik pada prosesnya. Arus Listrik yang dialirkan pada elektroda positif (anoda) dan elektroda negatif (katoda) akan menyebabkan timbulnya beda potensial dan mengionisasi molekul air menjadi ion positif dan ion negatif (Erlinawati *et al.*, 2014). Pada katoda, dua molekul air bereaksi dengan ada

menangkap dua elektron, tereduksi menjadi gas H_2 dan dua ion hidroksida (OH^-). Sementara itu pada anoda, dua molekul air lain terurai menjadi gas oksigen (O_2), melepaskan 4 ion H^+ serta mengalirkan elektron ke katoda. Ion H^+ dan OH^- mengalami netralisasi sehingga terbentuk kembali beberapa molekul air (Wahyono *et al.*, 2017). Terdapat proses elektrolisis yang ditunjukkan pada **Gambar. 2.3**



Gambar 2. 3 Proses elektrolisis (Fitriyanti, 2019)

Jumlah sel elektroda menjadi salah satu faktor yang mempengaruhi elektrolisis air terhadap jumlah arus listrik yang disuplai pada reaktor. Elektroda tersebut berfungsi sebagai penghantar arus sehingga proses elektrolisis dapat berjalan baik (Erlinawati *et al.*, 2014). Elektroda positif (+) disebut anoda sedangkan elektroda negatif (-) adalah katoda. Salah satu elektroda (elektroda negatif) mengalami reaksi kimia yang memberikan kelebihan elektron. Elektroda lainnya (elektroda positif) mengalami reaksi kimia yang menghilangkan elektron. Ketika dua elektroda dihubungkan oleh sebuah sirkuit listrik eksternal, kelebihan elektron akan mengalir dari elektroda negatif ke positif. Pemilihan elektroda merupakan salah satu hal yang penting. Elektroda berfungsi sebagai penghantar arus listrik dari sumber tegangan ke elektrolit yang akan dielektrolisis. Material serta luasan elektroda yang digunakan sangat berpengaruh terhadap gas hasil proses elektrolisis air. Sehingga material elektroda harus dipilih dari material yang memiliki konduktivitas listrik dan ketahanan terhadap korosi yang baik. Elektroda ada dua macam, yaitu *inert* (sangat sukar bereaksi) dan non *inert* (bereaksi). Elektroda *inert* meliputi karbon (C), Emas (Au), dan Platina (Pt).

Beberapa metode untuk menghasilkan gas hidrogen yaitu dengan reaksi kimia, steam reforming, dan elektrolisis. Cara paling sederhana yaitu dengan proses elektrolisis yang melibatkan pemisahan senyawa air (H_2O) dengan bantuan sumber arus listrik. Hidrogen merupakan gas yang ringan dan mudah terbakar, salah satu keistimewaan dibandingkan bahan bakar fosil lainnya yaitu pembakarannya tidak menyebabkan polusi karbon. Ketika terbakar, hidrogen melepaskan energi berupa panas dan menghasilkan air sebagai bahan buangan ($2H_2 + O_2 \rightarrow 2H_2O$). lebih efektif dalam pembakaran dan jumlahnya di alam sangat melimpah. Elektrolisis merupakan proses arus listrik bisa menguraikan suatu zat elektrolit. Artinya, pada proses elektrolisis terjadi perubahan energi listrik menjadi energi kimia (reaksi redoks). Pada katoda terdapat ion positif yang menyerap elektron dan menghasilkan molekul ion H_2 , dan ion negatif akan bergerak menuju anoda untuk melepaskan elektron dan menghasilkan molekul ion O_2 . Reaksi total elektrolisis air adalah penguraian air menjadi hidrogen dan oksigen. Bergantung pada jenis elektrolit yang digunakan, reaksi setengah sel untuk elektrolit asam atau basa dituliskan dalam dua cara yang berbeda. Elektrolisis merupakan proses elektrokimia dengan memanfaatkan energi listrik yang mengalir melalui katoda dan anoda didalam wadah yang berisi elektrolit. Dibutuhkan dua elektroda yang menghubungkan aliran listrik dari sumber arus agar terjadi reaksi kimia yaitu pada sisi positif disebut anoda dan pada sisi *negative* disebut katoda. Jenis anoda dan katoda diambil dari golongan logam yang bersifat netral seperti *stainless steel*. Reaksi yang dihasilkan akan berbeda jika kita menggunakan jenis elektroda yang berbeda, hal ini juga akan mempengaruhi produksi gas hidrogen yang dihasilkan. Selama proses elektrolisis, energi listrik diubah menjadi energi kimia untuk mendapatkan gas *Hydrogen* (Alfansury *et al.*, 2020).

2.5 Gas *Hydrogen*

Dari sekian banyak energi terbarukan bahan bakar hidrogen merupakan energi yang ramah lingkungan (Arzaqa & Kawano, 2013) dan menjadi perhatian besar pada banyak negara, terutama di negara maju. *Hydrogen* diproyeksikan oleh banyak negara akan menjadi bahan bakar masa depan yang lebih ramah lingkungan dan

lebih efisien. Dimana suplai energi yang dihasilkan sangat bersih karena hanya menghasilkan uap air sebagai emisi selama berlangsungnya proses. Energi hidrogen terutama dalam bentuk sel bahan bakar hidrogen (*Hydrogen fuel cells*) menjanjikan penggunaan bahan bakar yang tidak terbatas dan tidak polusi, sehingga menyebabkan ketertarikan banyak perusahaan energi terkemuka di dunia, industri otomotif maupun pemerintahan. Teknologi sel bahan bakar hidrogen ini dengan begitu banyak keuntungan yang dijanjikan menimbulkan gagasan "*Hydrogen economy*"

Gas hidrogen ini sendiri bisa digunakan sebagai bahan bakar gas secara tunggal maupun dalam bentuk campuran gas, seperti Brown's Gas. Istilah Brown's Gas pertama kali ditemukan oleh Yull 18 Brown (1974). Brown's Gas atau disebut juga gas H_2O (*oxyHydrogen*) adalah campuran gas antara monoatomik dan diatomik H_2 dengan O_2 . Brown's Gas memiliki karakteristik yang lebih baik dari segi ekonomi, efisiensi energi, dan afinitas lingkungan dibandingkan dengan gas asetilena dan LPG (*Liquefied Petroleum Gas*). Ketika dibakar, Brown's Gas mengempis karena volumenya lebih besar dari campuran gas H_2 dan O_2 sebelum dilakukan proses pembakaran (Lee *et al.*, 2005). Brown's Gas tidak menunjukkan sifat dari monoatomik O maupun H, namun memang menghasilkan beberapa H_2 dan O_2 saat produksi, tapi tidak sepenuhnya berupa H_2 atau O_2 . Brown's Gas juga dapat menyublim tungsten (Chris, 2008). Salah satu energi alternatif yang dapat digunakan untuk pengganti bahan bakar minyak adalah hidrogen. Sekitar 75% dari gas di alam adalah hidrogen. Keuntungan jika hidrogen digunakan sebagai bahan bakar yaitu suatu cuplikan hidrogen jika dibakar akan menghasilkan energi sebanyak kira-kira tiga kali energi yang dihasilkan bensin dengan berat yang sama. Dalam mesin kendaraan bermotor hidrogen akan terbakar lebih efisien jika dibandingkan dengan bahan bakar lain. Pembakaran hidrogen kurang menghasilkan polusi. Polutan yang terjadi hanya oksida nitrogen yang terjadi jika suhu pembakaran sangat tinggi. Mesin yang menggunakan hidrogen mudah diubah agar dapat menggunakan hidrogen sebagai bahan bakar (Putra, 2010).

Dilihat dari dua aspek yaitu ketersediaan yang menipis dan efek buruk yang ditimbulkan membuat banyak pihak yang mulai beralih untuk membuat bahan

bakar dari sumber energi non fosil. Bahan bakar tersebut adalah gas hidrogen. Hidrogen merupakan unsur yang jumlahnya melimpah di alam, namun masih berikatan dengan unsur-unsur yang lain membentuk molekul seperti air dan minyak bumi. Jadi Hidrogen itu sendiri perlu diproduksi dengan cara memecah unsur Hidrogen dari molekulnya. Oleh karena itu Hidrogen bukan termasuk sumber energi (*energy source*) melainkan pembawa energi (*carrier energy*). Hidrogen akan menjadi sistem energi masa depan di seluruh dunia (Gallardo *et al.*, 2021).

2.6 Hukum Faraday

Hukum Faraday tentang elektrolisis menjadi landasan teoritis yang sangat penting dalam memahami dan mengembangkan proses elektrokimia, termasuk dalam penelitian terkait efisiensi elektrolisis. Hukum ini terdiri dari dua prinsip utama. Hukum pertama menyatakan bahwa jumlah massa zat yang dihasilkan atau dikonsumsi pada elektroda selama elektrolisis berbanding lurus dengan jumlah muatan listrik yang melewati larutan elektrolit. Secara matematis, hukum ini dinyatakan dengan hubungan $m = k.Q$ di mana m adalah massa zat yang berubah, k adalah konstanta elektrokimia, dan Q adalah jumlah muatan listrik. Konsep ini menunjukkan bahwa elektrolisis memerlukan arus listrik yang signifikan untuk menghasilkan perubahan kimia yang terukur pada elektrode (C Walsh, 1991).

Ketika arus listrik mengalir melalui larutan elektrolit, terjadi perubahan kimia yang sesuai dengan hukum Faraday. Michael Faraday menetapkan bahwa massa zat yang dihasilkan atau dikonsumsi pada elektroda selama elektrolisis sebanding dengan jumlah muatan listrik yang mengalir melalui larutan (Alfani, 2021). Faraday I menyatakan bahwa jumlah zat yang dihasilkan pada elektroda sebanding dengan jumlah arus listrik yang mengalir selama elektrolisis, yang dapat dituliskan rumus

$$G = Q \quad 2.1$$

$$Q = I.t \quad 2.2$$

Lambang G pada rumus merupakan massa yang dihasilkan pada elektrolisis dalam bentuk satuan gram. Lambang Q merupakan muatan listrik dari sel dengan satuan Coulomb. Jumlah muatan listrik dalam sel merupakan hasil kali antara arus listrik (I) dengan satuan Ampere yang dialirkan dalam sel dan waktu elektrolisis (t) dengan satuan detik (s). Maka Hukum Faraday I dapat dinyatakan :

$$G = I \cdot t \quad 2.3$$

Pada Hukum Faraday II menyatakan bila sejumlah arus listrik tertentu dialirkan melalui beberapa larutan elektrolit, maka jumlah zat yang terjadi sebanding dengan massa ekivalennya. Hukum ini dapat dituliskan dalam bentuk rumus pada Persamaan 2.4

$$G \approx ME \text{ atau } G = \frac{Ar}{x} \quad 2.4$$

Lambang ME pada rumus merupakan hasil pembagian dari massa atom relatif (Ar) dan jumlah elektron yang diterima atau dilepas (x). Dapat digabungkan Hukum Faraday I dan Hukum Faraday II pada Persamaan 2.5

$$G = k \cdot I \cdot t \cdot ME \quad 2.5$$

Lambang k pada rumus merupakan tetapan atau konstanta pembanding yang ditemukan oleh Faraday bahwa harga faktor pembanding $k = \frac{1}{96.500}$, sehingga persamaan dapat dinyatakan pada Persamaan 2.6 dan Persamaan 2.7.

$$G = \frac{I \cdot t}{96.500} ME \quad 2.6$$

$$G = \frac{Ar}{x} \cdot \frac{I \cdot t}{96.500} \quad 2.7$$

Dalam konteks elektrolisis air, hukum Faraday digunakan untuk memahami mekanisme pembentukan gas hidrogen dan oksigen pada elektroda, serta menghitung efisiensi faradaik proses tersebut. Sebagai contoh, arus listrik yang melewati larutan elektrolit menghasilkan hidrogen di katoda melalui reduksi ion H^+

dan oksigen di anoda melalui oksidasi ion OH^- . Efisiensi sistem dapat ditingkatkan dengan memperhatikan parameter seperti luas permukaan elektrode dan resistansi larutan, yang semuanya berkaitan langsung dengan konsep-konsep dari hukum Faraday.

III. METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilakukan Ruang Workshop Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung pada bulan Desember 2024 sampai April 2025. Jadwal pelaksanaan kegiatan penelitian ini dapat ditunjukkan pada **Tabel 3.1.**

Tabel 3. 1 Jadwal pelaksanaan penelitian

No.	Kegiatan	Waktu Pelaksanaan (Bulan ke-)			
		1	2	3	4
1.	Studi Literatur, Menyiapkan Alat dan Bahan				
2.	Perancangan dan pembuatan alat uji				
3.	Pengujian				
4.	Pengambilan data				
5.	Analisis data dan pembuatan laporan akhir				

3.2 Alat dan Bahan Penelitian

Alat yang digunakan dalam penelitian antara lain sebagai berikut.

Tabel 3. 2 Alat penelitian

No.	Nama	Fungsi
1.	<i>Power supply</i> DC	Menyediakan tegangan Listrik (DC)
2.	Tabung Reaksi	Tempat reaksi elektrolisis terjadi
3.	Multimeter	Mengukur arus
4.	Buret atau alat pengukur volume gas	Mengukur volume gas yang dihasilkan
5.	<i>Stopwatch</i> atau <i>timer</i>	Mengukur waktu

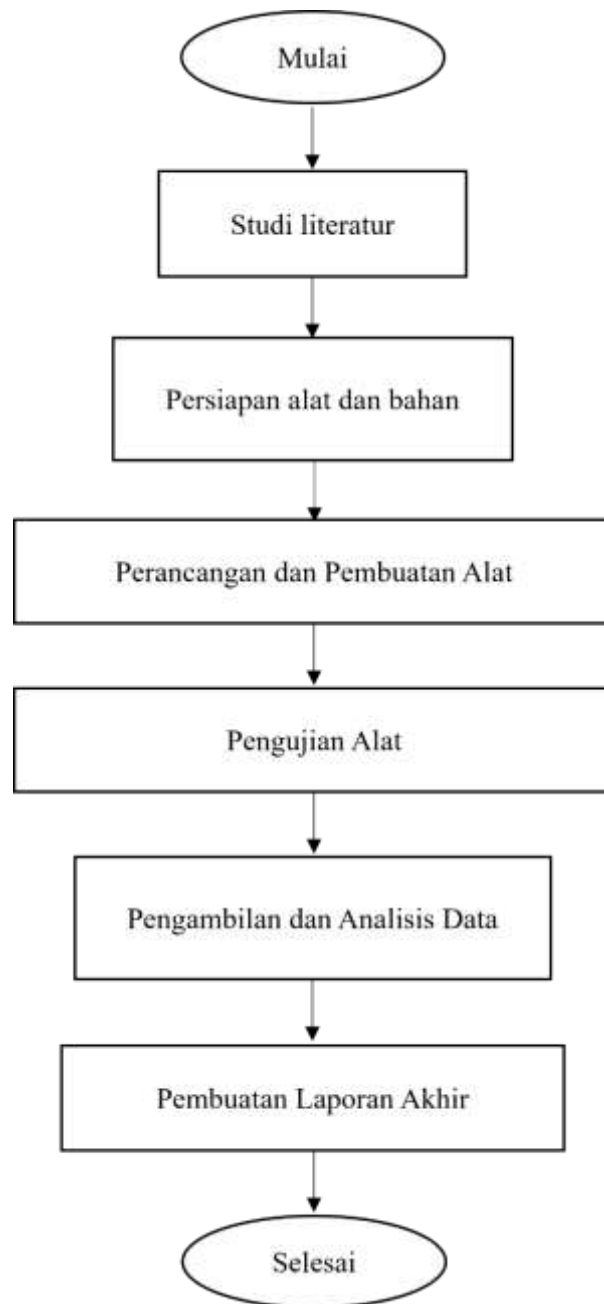
Bahan yang digunakan dalam penelitian antara lain sebagai berikut.

Tabel 3. 3 Bahan penelitian

No	Nama	Fungsi
1.	Larutan Elektrolit (KOH)	Meningkatkan konduktivitas air
2.	Elektroda (Tembaga tunggal, tembaga serabut, <i>stainless steel</i> dan karbon)	Tempat terjadinya reaksi elektrokimia
3.	Air	Bahan utama dalam proses <i>water splitting</i>

3.3 Prosedur Penelitian

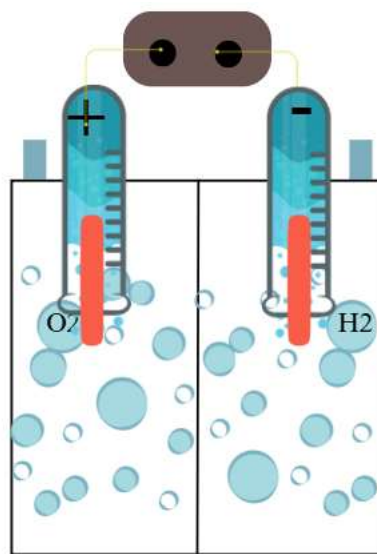
Pembuatan perangkat ini terdapat beberapa tahapan yang dilakukan yaitu perancangan perangkat, pengujian kerja alat, dan pengambilan data pengukuran. Langkah-langkah yang dilakukan pada pembuatan perangkat ditunjukkan dalam diagram alir penelitian pada **Gambar 3.1**.



Gambar 3. 1 Diagram alir penelitian

Perancangan alat elektrolisis dimulai dengan menyiapkan elektroda (tembaga tunggal, tembaga serabut, karbon dan *stainless steel*). Elektroda yang sudah di ukur sesuai diameter ukuran variasi yang setelah itu dijepit kabel buaya yang menyambung pada power suplai arus DC, kemudian di masukkan dalam tabung reaksi yang berisi larutan elektrolit KOH (kalium hidroksida) untuk meningkatkan

konduktivitas air. Alat ini kemudian dihubungkan dengan sumber daya listrik yang disesuaikan agar proses pemisahan air menjadi hidrogen dan oksigen dapat terjadi secara optimal. Selama percobaan, pengukuran dilakukan untuk memantau berbagai parameter, seperti arus dan tegangan yang diterapkan, volume gas yang dihasilkan, serta suhu elektrolit menggunakan sensor suhu. Pengukuran volume gas dapat dilakukan dengan alat pengukur volume gas atau buret. Desain alat ini dapat dilihat pada **Gambar 3.2**.



Gambar 3. 2 Perancangan alat elektrolisis

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis perbandingan produksi gas hidrogen (H_2) melalui proses elektrolisis air dengan memanfaatkan larutan kalium hidroksida (KOH) sebagai katalis untuk meningkatkan konduktivitas. Fokus penelitian ini adalah mengevaluasi pengaruh variasi jenis elektroda terhadap volume gas hidrogen yang dihasilkan. Elektroda yang digunakan mencakup tembaga tunggal, karbon, *stainless steel*, dan tembaga serabut. Larutan elektrolit disiapkan dengan melarutkan 20 gram KOH ke dalam air, membentuk medium yang mampu menghantarkan arus listrik secara optimal selama proses elektrolisis. Pada setiap variasi tegangan, volume gas hidrogen yang dihasilkan diukur setiap interval waktu lima menit.

Pengukuran volume gas hidrogen dilakukan menggunakan metode perpindahan air (*water displacement*), di mana tabung reaksi berfungsi sebagai alat ukur. Gas hidrogen yang terbentuk pada katoda akan terakumulasi di bagian atas tabung reaksi yang sebelumnya terisi penuh larutan KOH. Gas yang terkumpul akan menggantikan sebagian volume larutan, menyebabkan permukaan cairan di dalam tabung mengalami penurunan. Perubahan tinggi permukaan cairan ini digunakan sebagai indikator volume gas yang dihasilkan. Beberapa studi mendukung pendekatan ini.

Skema pengujian pada penelitian ini di mulai dengan variasi ukuran elektroda yang dipasang ke dalam larutan elektrolit di dalam beaker glass dengan variasi jenis elektroda yaitu tembaga, karbon dan besi yang kemudian dihubungkan ke *power supply* melalui kabel penghantar. *Power supply* diatur pada tegangan tetap, 12V, sesuai dengan kebutuhan eksperimen. Setelah rangkaian siap, percobaan dimulai dengan menyalakan *power supply* dan mencatat data volume gas hidrogen dan oksigen yang dihasilkan pada interval waktu tertentu, misalnya setiap 5 menit selama 30 menit. Langkah ini diulang untuk setiap variasi luas penampang dan jenis elektroda, dengan memastikan variabel lain seperti tegangan, konsentrasi elektrolit, dan waktu tetap konstan. Data arus listrik yang mengalir juga dicatat untuk setiap percobaan.

3.4 Rancangan Data Hasil Penelitian

Pada Tabel 3.1 dan Tabel 3.2 merupakan rancangan data pengujian elektrolisis pada penelitian ini yaitu perbedaan luas penampang, tegangan, arus, daya energi, volume gas H₂ dan efisiensi energi. Data pengamatan pada penelitian ini akan diambil sebanyak 2 kali pengulangan pada buret gelas dengan ukuran 250 ml dan 1000 ml. Rancangan data hasil penelitian disajikan pada **Tabel 3.4**.

Tabel 3. 4 Rancangan hasil penelitian

Tegangan (V)	Volume Gas Hidrogen (ml)						Efisiensi Energi (%)					
	a	b	c	d	e	f	a	b	c	d	e	f
3												
6												
9												
12												
15												

Hasil perhitungan terhadap efisiensi energi dalam proses elektrolisis air adalah ukuran yang menunjukkan seberapa baik energi listrik yang diberikan dapat diubah menjadi energi kimia yang tersimpan dalam hidrogen. Pada dasarnya, efisiensi ini dihitung dengan membandingkan energi listrik yang dikonsumsi selama proses dengan energi yang terkandung dalam hidrogen yang dihasilkan. Semakin tinggi efisiensi, semakin besar proporsi energi listrik yang berhasil diubah menjadi energi kimia, dan semakin sedikit energi yang terbuang sebagai panas atau kerugian lain.

Konsep efisiensi energi ini sudah digunakan sejak abad ke-19 ketika Michael Faraday merumuskan Hukum Faraday tentang Elektrolisis (1834), yang menjelaskan hubungan antara jumlah zat yang dihasilkan di elektroda dengan jumlah muatan listrik yang melewatinya. Pada masa awal, para ilmuwan menggunakan konsep ini untuk menentukan efisiensi konversi energi listrik menjadi energi kimia dalam sel elektrolisis sederhana.

Hukum Faraday kedua (Hukum Faraday II) menggambarkan jumlah energi listrik yang dibutuhkan untuk memproduksi jumlah zat tertentu. Hukum ini sangat penting untuk memahami efisiensi energi dalam proses elektrolisis, terutama dalam perhitungan efisiensi energi yang dibutuhkan untuk menghasilkan hidrogen dari elektrolisis air. Hukum ini memberikan dasar bagi perhitungan efisiensi energi elektrolisis, yaitu perbandingan antara energi listrik yang digunakan untuk proses elektrolisis dengan energi kimia yang terkandung dalam hidrogen yang dihasilkan. Secara matematis, efisiensi energi elektrolisis dapat dihitung sebagai:

$$\eta = \frac{E_{\text{Kimia}}}{E_{\text{Listrik}}} \cdot 100 \quad 4.1$$

E_{Kimia} merupakan energi kimia yang tersimpan dalam gas hidrogen (H_2) yang dihasilkan. E_{Listrik} adalah energi listrik yang digunakan selama proses elektrolisis

berlangsung. Energi ini tergantung pada daya listrik yang digunakan dan lamanya waktu proses, serta dapat dinyatakan dalam satuan kilojoule (kJ) atau kilowatt-jam (kWh). Perbandingan antara E Kimia dan E Listrik sering digunakan untuk menghitung efisiensi proses elektrolisis, yaitu sejauh mana energi listrik yang digunakan dapat dikonversi menjadi energi kimia dalam bentuk *hydrogen*.

$$Energi\ kimia = \frac{Volume\ gas\ hidrogen}{STP} Energi\ pembentukan\ air \quad 4.2$$

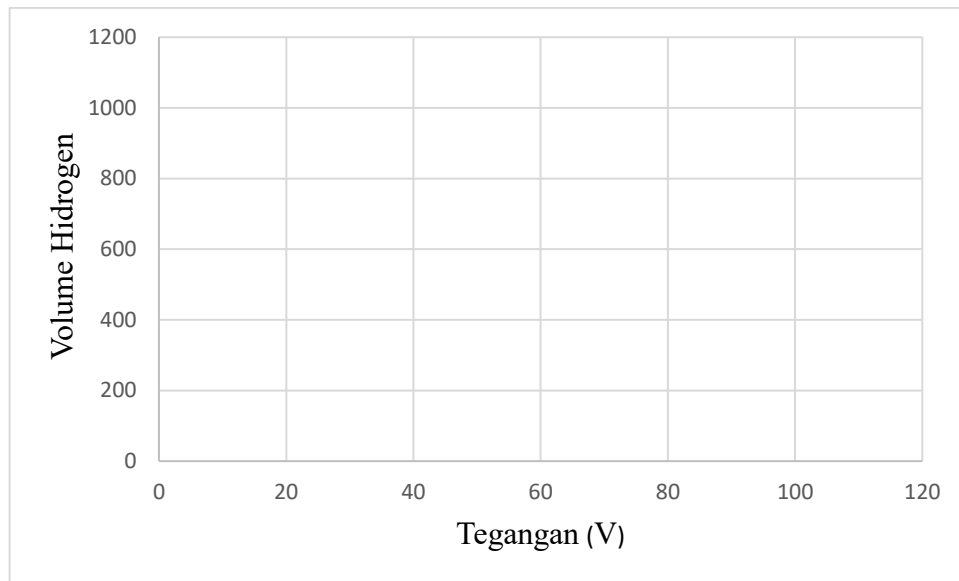
Dalam proses elektrolisis, volume gas hidrogen mengacu pada jumlah gas hidrogen yang dihasilkan sebagai hasil dari pemecahan molekul air menjadi gas hidrogen (H_2) dan oksigen (O_2) melalui aliran listrik. Volume ini biasanya diukur dalam satuan liter (L) dan dapat dianalisis lebih lanjut untuk mengetahui jumlah mol gas hidrogen yang terbentuk. Pada kondisi STP (*Standard Temperature and Pressure*), yaitu suhu $0^\circ C$ (273 K) dan tekanan 1 atm, 1 mol gas menempati volume sebesar 22,4 liter. Volume gas hidrogen yang dihasilkan dapat dikonversi menjadi jumlah mol menggunakan nilai STP ini. Energi pembentukan air menjadi acuan untuk menghitung energi kimia yang disimpan selama proses elektrolisis. Diketahui bahwa ketika 1 mol gas hidrogen (H_2) dibakar, akan dilepaskan energi sebesar 285.800 joule (J).

$$Energi\ Listrik = P . t \quad 4.3$$

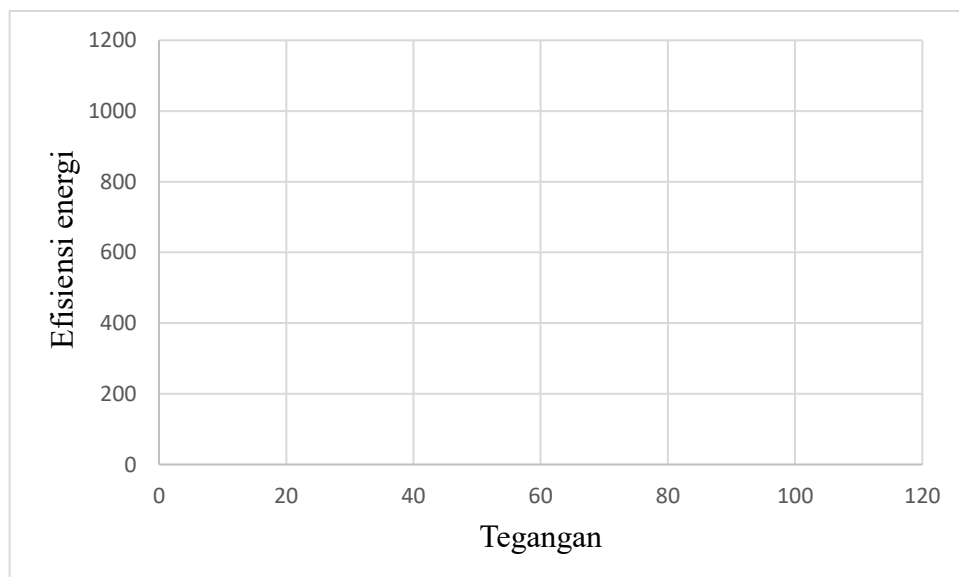
Dalam proses elektrolisis, P merupakan simbol yang menyatakan daya (energi) yang dihasilkan selama berlangsungnya reaksi elektrolisis. Besarnya daya ini dipengaruhi oleh berbagai faktor, salah satunya adalah waktu (t) yang digunakan dalam proses tersebut. Waktu (t) merujuk pada lamanya proses elektrolisis berlangsung pada setiap tingkat tegangan yang diberikan.

3.5 Rancangan Analisis Data Pengamatan

Data hasil penelitian dari pengujian elektrolisis yaitu luas penampang yang dapat mempengaruhi nilai tegangan, arus, daya, energi, volume H₂, dan efisiensi energi. Analisis data diplot dalam bentuk grafik seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 3.3 dan Gambar 3.4**.



Gambar 3. 3 Grafik hubungan tegangan terhadap volume hidrogen



Gambar 3. 4 Grafik hubungan tegangan dengan efisiensi energi

V. SIMPULAN DAN SARAN

5.1 Simpulan

Berdasarkan hasil pengujian dan pembahasan rancang bangun alat Efisiensi Energi Pada Proses *Water Splitting* yang telah dilakukan dalam penelitian ini, maka terdapat beberapa simpulan sebagai berikut.

1. Semakin besar luas penampang elektroda, semakin banyak volume gas hidrogen yang dihasilkan karena permukaan reaksi lebih luas, seperti pada tembaga serabut besar dan stainless steel besar.
2. Luas penampang memengaruhi efisiensi energi: elektroda kecil lebih efisien di tegangan rendah, sementara elektroda besar cenderung boros energi di tegangan tinggi.
3. Elektroda karbon paling efisien di tegangan rendah, tapi produksinya kecil. Tembaga serabut kecil adalah pilihan optimal karena seimbang dalam efisiensi dan produksi gas.

5.2 Saran

Saran yang diberikan untuk penelitian berikutnya adalah sebagai berikut.

1. Menguji jenis elektroda lain dengan konduktivitas tinggi, seperti grafit atau elektroda berbasis logam mulia (platina), untuk dibandingkan dengan kinerja Tembaga Serabut Besar.
2. Menggunakan larutan elektrolit yang berbeda, seperti NaOH atau H₂SO₄, untuk melihat pengaruhnya terhadap efisiensi energi.

3. Melakukan penelitian dengan pengendalian suhu yang lebih baik, mengingat suhu memiliki pengaruh signifikan terhadap efisiensi energi.

DAFTAR PUSTAKA

- Agita, & Rahmah, R. A. (2023). Prosiding Seminar Nasional Kesehatan Masyarakat Menuju Indonesia Bebas Polusi Udara: Sumber Energi Hidrogen Bagi Kebutuhan Listrik Rumah Tangga. *Prosiding Seminar Nasional Kesehatan Masyarakat*, 4(1), 100–110.
- Alfani, G. (2021). Pengaruh Gas Hidrogen Dari Larutan Sodium Hidroksida Terhadap Emisi Buang Dan Konsumsi Bahan Bakar Pada Kendaraan Bermotor. *Jurnal Simetrik*, 11(1), 417–421.
- Alfansury Siregar, M., Umurani, K., & Septiawan Damanik, W. (2020). Pengaruh Jenis Katoda Terhadap Gas Hidrogen Yang Dihasilkan Dari Proses Elektrolisis Air Garam. *Media Mesin : Majalah Teknik Mesin*. 21(2).57-65.
- Anisa, Z., & Setyaningrum, D. (2022). Pemanfaatan Elektrolit Air Laut Sebagai Sumber Energi Listrik Baterai Dengan Elektroda Tembaga & Aluminium. *Sainmatika: Jurnal Ilmiah Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam*, 19(2). 156–162.
- Apergis, N., & Payne, J. E. (2010). Renewable energy consumption and economic growth: Evidence from a panel of OECD countries. *Energy Policy*, 38(1), 656–660.
- Arifin, T., Rudiyanto, B., & Susmiati, Y. (2015). Studi Penggunaan Plat Elektroda Netral Stainless Steel 316 dan Aluminium Terhadap Performa Generator HHO Dry Cell. *Rona Teknik Pertanian*, 8(2), 116–129.
- Aryo Wibowo, I., & Suprihanto, A. (2022). Pembuatan Elektroda Grafit Berpori Untuk Proses Elektrolisis. *Jurnal Teknik Mesin S-1*, 10(4), 497–502.
- Arzaqa, Y., & Kawano, D. S. (2013). Studi Karakteristik Generator Gas HHO Tipe Dry Cell dan Wet Cell berdimensi 80 x80 mm dengan Penambahan PWM-3 FF (1KHz). *Jurnal Teknik POMITS*, 2(2), 2301–9271.

- Baddoo, N. R. (2008). Stainless steel in construction: A review of research, applications, challenges and opportunities. *Journal of Constructional Steel Research*, 64(11), 1199–1206.
- C Walsh, F. (1991). Faraday and his laws of electrolysis: an appreciation. *Bulletin of Electrochemistry*, 7(11), 481–484.
- Danish, Baloch, M. A., Mahmood, N., & Zhang, J. W. (2019). Effect of natural resources, renewable energy and economic development on CO₂ emissions in BRICS countries. *Science of the Total Environment*, 678, 632–638.
- El-Shafie, M. (2023). Hydrogen production by water electrolysis technologies: A review. *Results in Engineering*, 20(1), 101426.
- Erlinawati, Zikri, A., & Mudzakkir, A. (2014). pengaruh Suplai Arus Listrik dan Jumlah Sel Elektroda Terhadap Produksi Gas Hidrogen Dengan Elektrolit Asam Sulfat. *Jurnal Kinetika*, 5, 14–19.
- Fatmi, D., Alif, A., & Suyani, D. H. (2012). Pemecahan (Splitting) Molekul Air Menjadi Gas H₂ Dan O₂ Melalui Proses Fotovoltaik. In *J. Ris. Kim* (Vol. 5, Issue 2).
- Fazlunazar, M., Hakim, L., Meriatna, Sulhatun, & Aminullah, M. M. (2020). Fazlunazar, M., Hakim, L., Sulhatun., Aminullah, M.M. *Jurnal Teknologi Kimia Unimal*, 9(1), 58–66.
- Fitriyanti. (2019). Analisis Produktivitas Gas Hidrogen Berdasarkan Arus Dan Tegangan Pada Proses Elektrolisis H₂O. *JFT : Jurnal Fisika Dan Terapannya*, 6(2), 154.
- Fitriyanti. (2021). Pengaruh Luas Permukaan Elektroda Dengan Penambahan PWM *Controller* Terhadap Efisiensi Produksi Gas Hidrogen Pada Proses Elektrolisis. *Jurnal Sains Fisika*, 1(1), 42–52.
- Gallardo, F. I., Monforti Ferrario, A., Lamagna, M., Bocci, E., Astiaso Garcia, D., & Baeza-Jeria, T. E. (2021). A Techno-Economic Analysis of solar hydrogen production by electrolysis in the north of Chile and the case of exportation from Atacama Desert to Japan. *International Journal of Hydrogen Energy*, 46(26), 13709–13728.

- Gani, R., Adawiah, S. R., & Nur, A. (2021). Elektroplating Grafena-Polianilina pada Stainless Steel sebagai Elektroda pada Elektrolisis Air untuk Produksi Hidrogen. *KOVALEN: Jurnal Riset Kimia*, 7(2), 109–120.
- Hamid, R. A., Purwono, & Oktiawan, W. (2017). Penggunaan Metode Elektrolisis Menggunakan Elektroda Karbon Dengan Variasi Tegangan Listrik Dan Waktu Elektrolisis Dalam Penurunan Konsentrasi TSS dan COD Pada Pengolahan Air Limbah Domestik. *Jurnal Teknik Lingkungan*, 6(1), 1–18.
- Haris Prayudha Setyawan, & Okta Suryani. (2024). Modified Titanium Oxide with Metal Doping as Photocatalyst in Photochemical Water Splitting. *Jurnal Sains Natural*, 14(1), 01–12.
- Holladay, J. D., Hu, J., King, D. L., & Wang, Y. (2009). An overview of hydrogen production technologies. *Catalysis Today*, 139(4), 244–260.
- Jumriadi, Bakti, A. I., & Nugraha, M. K. (2023). Analisis Metode Elektrokoagulasi Dalam Menurunkan Kesadahan Air Sumur Dengan Variasi Jenis Elektroda. *Chemistry Progress*, 16(1), 65–70.
- Khan, H., Khan, I., & Binh, T. T. (2020). The heterogeneity of renewable energy consumption, carbon emission and financial development in the globe: A panel quantile regression approach. *Energy Reports*, 6(1), 859–867.
- Koper, M. T. M. (2011). Thermodynamic theory of multi-electron transfer reactions: Implications for electrocatalysis. *Journal of Electroanalytical Chemistry*, 660(2), 254–260.
- Lee, J. T., Connor-Appleton, S., Bailey, C. A., & Cartwright, A. L. (2005). Effects of guar meal by-product with and without β -mannanase Hemicell on broiler performance. *Poultry Science*, 84(8), 1261–1267.
- Lestari, A., Kurniasih, Y., Indah, D. R., & Ahmadi. (2022). Pengaruh Variasi Jumlah Elektroda Dan Jenis Katalis Terhadap Produksi Gas Hidrogen Pada Elektrolisis Air Laut. *Jurnal Pendidik Indonesia*, 5(2), 1–11.
- Lestari, N. A. C., Nugroho, W. A., & Nugroho, H. (2022). Analisis Komparasi Jenis Teknologi Elektrolisis Hidrogen Sebagai Alternatif Energi Bersih di Indonesia (1). *Energi Dan Kelistrikan*, 14(2), 196–206.

- Madury, S. Al, Fakhrunnisa, F., Panjaitan, R., Ni'mah, S., & Chandra, T. P. (2014). Prohilila (Produksi Hidrogen Dari Limbah Laboratorium) Sebagai Mediator Energi Pembangkit Listrik Dengan Metode Fuel Cell. *Khazanah*, 6(2), 55–66.
- Mahesi, T. Z., Saputra, R., Febriana, I., & A, S. E. (2025). *Jurnal Teknik Kimia USU Pengaruh Jumlah Sel Elektroda Terhadap Produksi Gas Hidrogen dengan Proses Elektrolisis sebagai Sumber Energi Fuel Cell The Influence of the Number of Electrode Cells on Hydrogen Gas Production Using the Electrolysis Process as a F. 14(1)*, 10–18.
- Mazloomi, S. K., & Sulaiman, N. (2012). Influencing factors of water electrolysis electrical efficiency. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(6), 4257–4263.
- Natasha, F., Hutajulu, E. S., & Pardi, H. (2024). Produksi Hidrogen Dari Air Laut Menggunakan Metode Elektrolisis Berbantuan Elektrokatalis. *Jurnal Energi Baru Dan Terbarukan*, 5(2), 115–129.
- Okazaki, Y., & Gotoh, E. (2008). Metal release from stainless steel, Co-Cr-Mo-Ni-Fe and Ni-Ti alloys in vascular implants. *Corrosion Science*, 50(12), 3429–3438.
- Purwacaraka, H., Santoso, D. B., & Rahmadewi, R. (2021). Analisis Tegangan dan Arus untuk Menghasilkan Elektrolisis pada Sistem Hidrogen Fuel Cell. *STROOM: Journal of Signal Processing, Control, Electronics, Computer, Power, and Telecommunication Engineering*, 1(1), 27–33.
- Putra, A. M. (2010). Analisis Produktifitas Gas Hidrogen Dan Gas Oksigen Pada Elektrolisis Larutan Koh. *Jurnal Neutrino*, 2(2), 141–152.
- Putri, A., & Handani, S. (2015). Karakterisasi Sifat Mekanik Hasil Elektroplating Nikel Karbonat (NiCO₃) Pada Tembaga (Cu). *Jurnal Fisika*, 4(1), 83–90.
- Ridlo, M. R. (2009). Perubahan Karakteristik Listrik Elektroda Nikel Akibat Sonikasi Pada Proses Elektrolisis Air. *Jurnal Sains Materi Indonesia*. 11(1), 66–70.
- Sopandi, I., Hananto, Y., & Rudiyanto, B. (2015). Studi Ketebalan Elektroda Pada Produksi Gas HHO (Hidrogen Hidrogen Oksigen) Oleh Generator Hho Tipe Basah Dengan Katalis NaHCO₃ (Natrium Bikarbonat). *Rona Teknik Pertanian*, 8(2), 38–49.

- Supiah, I. (2010). Perilaku sel elektrolisis air dengan elektroda stainless steel. *Jurnal Kimia UNY*, 03(02), 1–9.
- Syaiful, A. Z., Dwita, J., Batu, R., Kimia, P. T., Teknik, F., & Bosowa, U. (2022). Analisis Laju Korosi Dan Lifetime. *Jurnal : Universitas Bosowa, Makasar, Indonesia*, 1–14.
- Taveira, L. V., Frank, G., Strunk, H. P., & Dick, L. F. P. (2005). The influence of surface treatments in hot acid solutions on the corrosion resistance and oxide structure of stainless steels. *Corrosion Science*, 47(3), 757–769.
- Tumilar, G., Lisi, F., & Pakiding, M. (2015). Optimalisasi Penggunaan Bahan Bakar pada Generator Set dengan Menggunakan Proses Elektrolisis. *E-Journal Teknik Elektro Dan Komputer*, 1(1), 87–88.
- Wahyono, & Roihatin, A. (2016). Pembuatan Alat Produksi Gas Hidrogen Dan Oksigen Tipe Wett Cell Dengan Variasi Luas Penampang. *EKSERGI Jurnal Teknik Energi*, 12(1), 18–23.
- 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.
- Wiyati, A. (2020). *Buku Bahan Ajar Kimia*. In Direktorat Sekolah Menengah Atas. Surabaya. 1(1). 7-8.
- Xiong, J., & Xu, D. (2021). Relationship between energy consumption, economic growth and environmental pollution in China. *Environmental Research*, 194, 110718.
- Zhao, C., Tian, H., Zou, Z., Xu, H., & Tong, S. Y. (2023). Understanding oxygen evolution mechanisms by tracking charge flow at the atomic level. *IScience*, 26(7), 2–10.