

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 Fuel Cell Energy Source

Erlinawati*, Trin Zikir Mahesi, Richo Saputra, Ida Febriana, Sahrul Effendy A

Program Studi Teknik Energi, Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Sriwijaya, Jl. Sriwijaya Negara, Palembang, 30139, Indonesia

*Email: erlina_w@polsri.ac.id

Article history:

Diterima : 3 September 2024
Direvisi : 21 Januari 2025
Disetujui : 19 Februari 2025
Mulai online : 27 Maret 2025

E-ISSN: 2337-4888

How to cite:

Erlinawati, Trin Zikir Mahesi, Richo Saputra, Ida Febriana, Sahrul Effendy A. (2025). Pengaruh Jumlah Sel Elektroda Terhadap Produksi Gas Hidrogen dengan Proses Elektrolisis sebagai Sumber Energi *Fuel Cell*. Jurnal Teknik Kimia USU, 14(1), 10-18.

ABSTRAK

Hidrogen adalah energi terbarukan yang ramah lingkungan dan bebas karbon yang dapat dihasilkan melalui reaksi dengan oksigen untuk menghasilkan listrik. Salah satu metode produksi hidrogen adalah melalui elektrolisis air. Tujuan penelitian ini adalah untuk mendapatkan kondisi terbaik untuk produksi gas hidrogen, *specific energy consumption*, serta memanfaatkan gas hidrogen sebagai sumber energi *Proton Exchange Membrane (PEM) fuel cell* berdasarkan variasi jumlah sel elektroda (6, 12 dan 18 sel) dan konsentrasi kalium hidroksida (0,1 M, 0,2 M, 0,3 M dan 0,4 M). Proses ini dilakukan dengan tegangan 10 volt selama 30 menit. Hasil penelitian ini, menunjukkan bahwa produksi gas hidrogen tertinggi sebesar 0,8927 L diperoleh dari 18 sel elektroda dan konsentrasi 0,3 M. Kondisi optimal *konsumsi energi spesifik* tercapai pada 33.269 joule dengan kombinasi yang sama. Efisiensi *PEM fuel cell* yang tertinggi dicapai adalah 47,25 %, sementara efisiensi terendah adalah 44,80 %.

Kata kunci: hidrogen, elektrolisis, jumlah sel elektroda, konsentrasi kalium hidroksida, *proton exchange membrane fuel cell*

Abstract

Hydrogen is an environmentally friendly, carbon-free renewable energy source that can be generated through reactions with oxygen to produce electricity. One method of producing hydrogen is via water electrolysis. The aim of this study was to determine the optimal conditions for hydrogen gas production, *specific energy consumption*, and the use of hydrogen gas as an energy source for *Proton Exchange Membrane (PEM) fuel cells*, using potassium hydroxide (KOH) at concentrations of 0.1 M, 0.2 M, 0.3 M, and 0.4 M. The electrolysis process was conducted at a voltage of 10 volts for 30 minutes. The results showed that the highest hydrogen gas production, 0.8927 L, was achieved with 18 electrode cells and a KOH concentration of 0.3 M. The optimal *specific energy consumption* was 33,269 joules under the same conditions. The maximum efficiency of the *PEM fuel cell* was 47.25%, while the minimum efficiency was 44.80%

Keyword: hydrogen, electrolysis, number of electrode cells, potassium hydroxide concentration, *proton exchange membrane fuel cell*



This work is licensed under a Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International.
<https://doi.org/10.32734/jtk.v14i1.18064>

1. Pendahuluan

Dampak penggunaan bahan bakar fosil semakin dikhawatirkan terhadap pemanasan global dan penggunaan yang tidak berkelanjutan dalam beberapa tahun terakhir. Di sisi lain, permintaan energi global terus bertambah seiring dengan pertumbuhan populasi dan gaya hidup yang semakin mengandalkan energi. Energi sangat penting untuk mendukung berbagai aktivitas manusia, sehingga pengembangan sumber

energi terbarukan menjadi krusial untuk mempercepat transisi menuju netralitas karbon secara global. Hidrogen (H_2) diakui sebagai salah satu pembawa energi alternatif yang ramah lingkungan dengan jejak karbon yang sangat rendah, karena hanya menghasilkan air ketika bereaksi dengan oksigen untuk menghasilkan listrik [1]. Salah satu metode untuk menghasilkan gas H_2 adalah melalui elektrolisis air, Metode ini menyebabkan terjadinya perubahan reaksi kimia dalam suatu elektrolit dengan memanfaatkan kekuatan arus listrik. [2].

Efisiensi produksi hidrogen sangat dipengaruhi oleh jenis elektroda yang digunakan. Oleh karena itu, dalam proses elektrolisis, pemilihan elektroda harus mempertimbangkan kemampuan konduktivitas listriknya, yang berarti elektroda harus memiliki sifat logam, sesuai dengan deret volta, serta ekonomis [3]. Elektroda memiliki peran penting sebagai penghantar arus listrik ke elektrolit yang akan dielektrolisis dari sumber tegangan. Material dan luas permukaan elektroda sangat mempengaruhi jumlah gas yang dihasilkan selama proses elektrolisis air. Oleh karena itu, material elektroda harus memiliki konduktivitas listrik yang baik dan tahan terhadap korosi. Ada dua jenis elektroda inert (sangat sulit bereaksi) dan non-inert. Contoh elektroda non-inert meliputi tembaga (Cu), seng (Zn), dan besi (Fe), sedangkan elektroda inert, yang tidak mengalami oksidasi di anoda, termasuk emas (Au), platina (Pt), dan karbon (C) [4].

Penelitian sebelumnya oleh Assyifa Ghefirananda pada tahun 2023 menggunakan perangkat elektroliser tipe *wet cell*, namun terdapat masalah pada panel kontrol arus listrik yang tidak konstan, yang menyebabkan korsleting dan potensi ledakan karena sensitivitas gas hidrogen. Alat tersebut memiliki tangki umpan dan pompa untuk mengalirkan elektrolit ke reaktor, serta memberikan arus listrik ke sel elektroda yang terdiri dari anoda dan katoda. Gas yang dihasilkan dari kedua sisi katoda dan anoda dialirkan ke tabung penampung sementara untuk memisahkan air, sebelum ditampung sebagai gas hidrogen dan oksigen murni.

Seiring perkembangan waktu dan teknologi untuk meningkatkan efisiensi dan kinerja alat elektrolisis serta meningkatkan keselamatan dan efisiensi, dilakukan modifikasi dengan mengganti sel elektrolisis dari tipe *wet cell* menjadi *dry cell*. Perubahan ini bertujuan untuk meningkatkan efisiensi dengan hanya mengisi celah antara elektroda tanpa merendam sepenuhnya dalam elektrolit cair, serta untuk mencegah kebocoran gas dan ledakan. Selain itu, posisi tangki umpan dipindahkan dari bawah ke atas, sehingga aliran umpan memanfaatkan gravitasi dan mengurangi kebutuhan pompa.

Terdapat beberapa faktor yang dapat mempengaruhi kinerja alat elektroliser yaitu, jenis elektroda, jarak elektroda dan konsentrasi larutan terhadap produksi gas hidrogen [5]. Terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi kinerja perangkat elektroliser, yaitu jenis elektroda, jarak antar elektroda, dan konsentrasi larutan terhadap produksi gas hidrogen. Penelitian sebelumnya oleh Zhang et al. (2021) menunjukkan bahwa pemilihan elektroda yang tepat dapat meningkatkan efisiensi elektrolisis, dengan stainless steel 304 terbukti sebagai material yang efektif karena tahan korosi dan memiliki konduktivitas listrik yang baik. Selain itu, penelitian oleh Ali et al. (2020) menyimpulkan bahwa jumlah sel elektroda yang optimal dapat meningkatkan laju produksi gas hidrogen secara signifikan. Dalam penelitian ini, pemilihan elektroda stainless steel 304 sangat penting untuk mencapai kuantitas gas hidrogen yang optimal selama waktu produksi yang cukup lama. Penelitian ini secara sistematis dan efektif difokuskan pada analisis hasil produksi gas hidrogen dengan memvariasikan jumlah sel elektroda, yaitu 6, 12, dan 18 sel, serta menambahkan konsentrasi KOH untuk menentukan parameter operasional yang ideal dalam proses elektrolisis air.

Tantangan utama yang harus diatasi adalah mampu memanfaatkan gas hidrogen yang dihasilkan dari proses elektrolisis sebagai sumber energi yang efektif. Dalam penelitian ini, peneliti menggunakan *Proton Exchange Membrane (PEM) fuel cell* sebagai perangkat elektrokimia yang mengonversi energi kimia menjadi energi listrik dengan memanfaatkan hidrogen dan oksigen sebagai bahan bakarnya. Inovasi ini memicu revolusi dalam industri energi, memungkinkan penggunaan energi listrik yang bersih dan ramah lingkungan dari sumber daya terbarukan seperti air dan gas hidrogen. Selain itu, teknologi ini memiliki potensi untuk mengurangi ketergantungan pada energi fosil dan menurunkan emisi gas rumah kaca.

Beberapa penelitian tentang produksi gas hidrogen menunjukkan hasil yang menarik. Menurut Yohandri (2020), penggunaan elektroda *stainless steel* dan variasi konsentrasi katalis dalam jenis air yang dilengkapi dengan arrestor dapat meningkatkan produksi hidrogen. Dalam penelitian tersebut, dengan menggunakan NaOH 0,1 M dan arus 35 ampere, dihasilkan 1,744 liter hidrogen, sedangkan dengan H_2SO_4 0,1 M, dihasilkan 1,2199 liter, dengan efisiensi tertinggi mencapai 41,7063%. Meskipun peningkatan konsentrasi elektrolit dapat meningkatkan produksi gas, efisiensi cenderung menurun dan stabil [6]. Selain itu, penelitian oleh Sarira et al. (2021) menunjukkan bahwa dalam proses elektrolisis air dengan variasi elektrolit KOH, NaCl, dan $NaHCO_3$, elektrolit KOH menghasilkan gas terbanyak dalam satu jam, diikuti oleh $NaHCO_3$, sedangkan NaCl menghasilkan gas paling sedikit. Berdasarkan reaksi kimia, larutan KOH

memang menghasilkan gas lebih banyak. Penggunaan elektroda pelat stainless steel dengan konsentrasi elektrolit 5% menghasilkan produksi gas hidrogen tertinggi, baik secara teoritis maupun aktual, dengan elektrolit KOH [7].

Menurut Callister (2007) *stainless steel* 304 adalah salah satu jenis baja tahan karat yang paling banyak digunakan dalam industri. Berdasarkan standar *American Society for Testing and Materials* (ASTM A240/A240M), *stainless steel* 304 memiliki komposisi kimia yang terdiri dari 18-20% kromium, 8-10,5% nikel, dan sejumlah kecil elemen lain seperti karbon, mangan, silikon, fosfor, dan belerang. *Stainless steel* 304 dikenal karena ketahanan korosinya yang baik, terutama terhadap lingkungan yang mengandung asam dan air. Namun, dalam kondisi tertentu, basa kuat (alkali) dapat menyebabkan korosi pada *stainless steel* 304 [8].

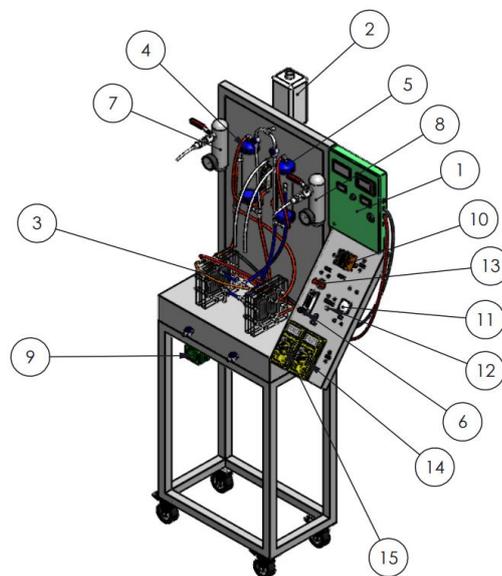
Membran poliester banyak digunakan dalam aplikasi filtrasi dan pemisahan karena memiliki permukaan yang halus serta kemampuan menahan tekanan tinggi. Membran ini diaplikasikan dalam sistem penyaringan air, pemisahan gas, dan berbagai proses industri yang memerlukan pemisahan partikel atau molekul tertentu (Mulder, 1996). Dalam konteks penelitian ini, pemilihan membran poliester berperan penting dalam meningkatkan efisiensi proses pemisahan gas hidrogen dari elektrolisis.

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah menganalisis pengaruh jumlah sel elektroda dan konsentrasi KOH terhadap produksi gas hidrogen, serta menganalisis pengaruh keduanya terhadap konsumsi energi spesifik (*Specific Energy Consumption/SEC*) dalam proses elektrolisis. Selain itu, penelitian ini juga bertujuan untuk mengevaluasi pemanfaatan gas hidrogen hasil elektrolisis dalam pengoperasian *fuel cell*.

2. Metode

Bahan dan Alat

Bahan baku yang digunakan pada penelitian ini adalah H₂O dan kalium hidroksida (KOH). Alat yang digunakan pada penelitian ini yaitu, elektrolisis *fuel cell*. Seperti yang ditunjukkan pada gambar 1.



Gambar 1. Seperangkat Alat Elektrolisis *Fuel Cell*

Keterangan

- | | |
|----------------------------------|---|
| 1. Panel Kontrol | 9. Pompa Vacuum |
| 2. Tangki <i>Feed</i> | 10. PEM <i>Fuel Cell</i> |
| 3. Sel <i>Electrolyzer</i> | 11. Lampu <i>Light Emitting Diode (LED)</i> |
| 4. Separator Gas H ² | 12. <i>USB Port</i> |
| 5. Separator Gas O ₂ | 13. <i>Motor Fan</i> |
| 6. Flowmeter | 14. Voltmeter |
| 7. H ₂ <i>Storage</i> | 15. Amperemeter |
| 8. O ₂ <i>Storage</i> | |

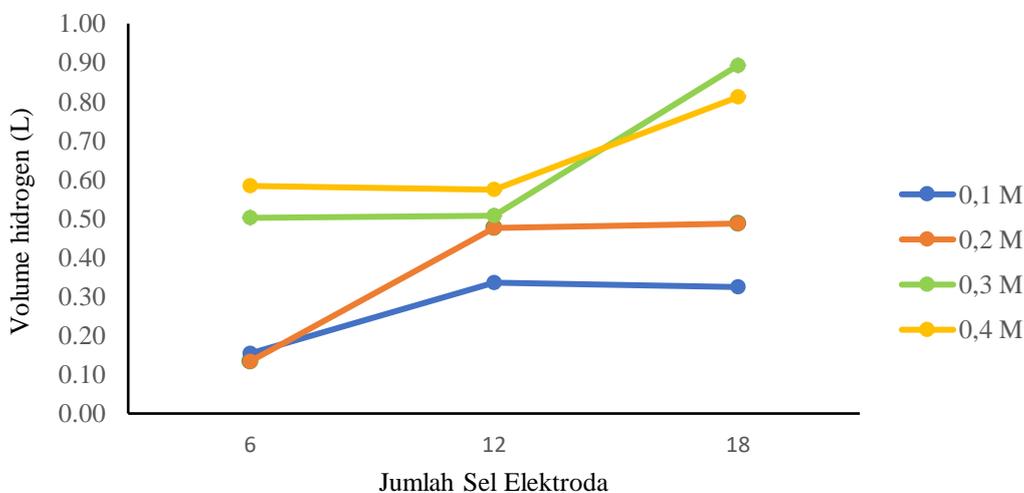
Prosedur Penelitian

Proses elektrolisis dilakukan menggunakan alat elektrolisis dengan melibatkan tiga variasi jumlah sel elektroda yaitu 6 sel, 12 sel dan 18 sel pada tegangan 10 volt. Variasi konsentrasi KOH yang digunakan adalah 0,1 M, 0,2 M, 0,3 M, dan 0,4 M dengan 300 ml larutan elektrolit. Proses elektrolisis berlangsung selama 5 menit sebanyak 6 kali, di mana gas dilepaskan ke lingkungan pada menit pertama untuk mengurangi kandungan oksigen dalam tabung penampungan, sehingga gas yang dihasilkan lebih kaya hidrogen (H_2). Selama proses, pengamatan dilakukan terhadap tekanan gas, suhu, arus, dan daya yang dihasilkan, serta pencatatan hasil pengukuran. Dilakukan analisa kandungan gas di *Laboratory analytical report* Pupuk Sriwidjaja Palembang. Selanjutnya, dilakukan pengujian *Proton Exchange Membrane fuel cell* dengan pengisian bahan bakar berupa hidrogen hasil keluaran dari elektroliser dan gas oksigen dari lingkungan. *Fuel cell* diuji dengan pemberian beban berupa lampu LED, motor *fan* dan USB *charger*. Selanjutnya, dilakukan pengamatan terhadap daya yang dihasilkan oleh *fuel cell*.

3. Hasil

Pengaruh Jumlah Sel Elektroda dan Konsentrasi KOH Terhadap Volume Gas Hidrogen yang Dihasilkan

Dalam penelitian ini, elektroda yang digunakan terbuat dari *stainless steel* 304, dengan jumlah sel elektroda yang bervariasi, yaitu 6, 12, dan 18 sel, disusun secara seri menggunakan baut. Jarak antar lempeng elektroda, baik anoda maupun katoda, diatur sedekat mungkin untuk meningkatkan gaya tarik antara kedua kutub, yang membantu memecah ikatan hidrogen pada molekul air. Setelah dilakukannya proses elektrolisis air yang dialiri oleh arus listrik dan dimulai dari 6 sel. 12 sel dan 18 sel jumlah sel elektroda asumsi gas hidrogen yang dihasilkan dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Pengaruh jumlah sel elektroda dan konsentrasi KOH terhadap produksi gas hidrogen pada proses elektrolisis air

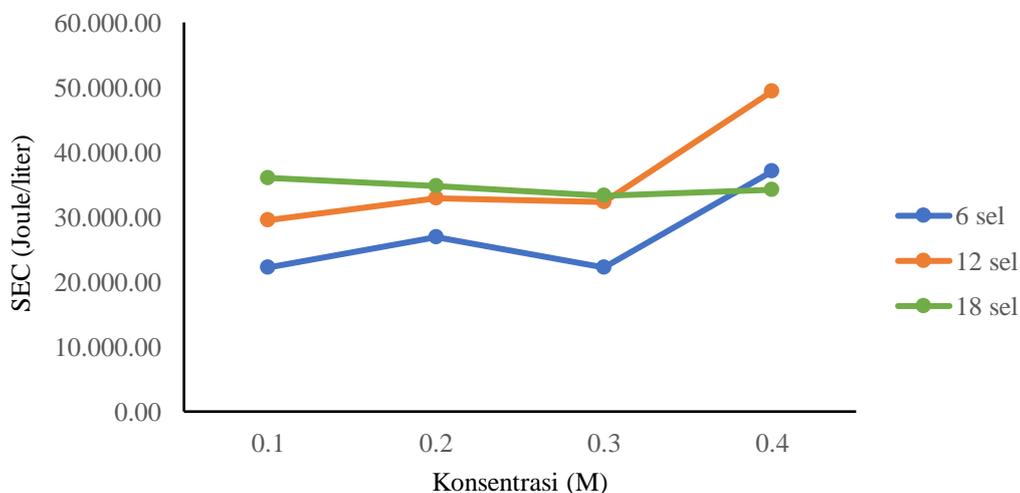
Pengaruh jumlah sel elektroda terhadap volume gas hidrogen yang dihasilkan terdapat faktor yang mempengaruhinya yaitu, peningkatan jumlah sel elektroda, jika jumlah sel elektroda bertambah, maka luas permukaan yang terlibat dalam reaksi elektrolisis juga meningkat, peningkatan arus listrik, efisiensi, konsentrasi larutan, tegangan, dan suhu yang semuanya harus diperhitungkan secara bersamaan dengan jumlah sel elektroda. Pada gambar 2, penggunaan 6 sel elektroda menunjukkan bahwa produksi gas hidrogen mengalami penurunan dari 0,1540 liter pada konsentrasi 0,1 M menjadi 0,1337 liter pada konsentrasi 0,2 M. Menurut Novoa (2024), peningkatan tekanan mengakibatkan ukuran gelembung gas menjadi lebih kecil, sehingga gelembung gas lebih mudah keluar dari sel elektroda, yang dapat mengurangi aliran gas hidrogen [9]. Sebaliknya, pada konsentrasi 0,3 M dan 0,4 M, produksi gas hidrogen meningkat menjadi 0,5018 liter dan 0,5833 liter, terdapat perbandingan hasil yang kontras pada penurunan produksi gas hidrogen 0,1 M dan 0,2 M karena dengan peningkatan konsentrasi ion dalam larutan. Meskipun ion-ion yang lebih banyak tersedia, peningkatan konsentrasi juga menyebabkan penurunan mobilitas ion karena adanya interaksi antar ion yang lebih intens sehingga menghambat transfer elektron yang efisien selama reaksi elektrolisis. Sedangkan pada konsentrasi yang lebih tinggi (0,3 M dan 0,4 M) terjadinya peningkatan arus listrik ini mengarah pada peningkatan kecepatan reaksi

elektrokimia, hal ini Menurut Yohandri (2020), jumlah sel elektroda mempengaruhi jumlah arus listrik dan peningkatan elektron. Semakin banyak sel yang digunakan, arus listrik yang disuplai akan terbagi ke setiap sel. Hal ini menyebabkan arus pada setiap sel menjadi lebih kecil, sehingga distribusi elektron menjadi lebih merata. Akibatnya, laju reaksi penguraian molekul air menjadi lebih cepat. Pada 12 sel elektroda menunjukkan peningkatan produksi gas hidrogen dengan bertambahnya konsentrasi larutan KOH, dari 0,3356 liter pada konsentrasi 0,1 M hingga 0,5739 liter pada konsentrasi 0,4 M. Peningkatan ini disebabkan oleh bertambahnya luas permukaan elektroda, yang meningkatkan kapasitas elektroliser dan aliran gas hidrogen yang dihasilkan. Pada 18 sel elektroda, peningkatan konsentrasi dari 0,1 M dan 0,2 M terjadi peningkatan produksi gas hidrogen dari 0,3247 liter menjadi 0,4871 liter. Hal ini menunjukkan bahwa semakin banyak sel elektroda yang digunakan, semakin besar produksi gas hidrogen. Menurut Fahreza et al. (2019) jumlah elektroda yang lebih banyak dapat meningkatkan luas permukaan, yang memungkinkan lebih banyak reaksi kimia terjadi, terutama pada katoda (reaksi reduksi) dan anoda (reaksi oksidasi), sehingga memperluas area untuk reaksi selama proses elektrolisis. Namun, pada konsentrasi 0,3 M dan 0,4 M, produksi gas menurun dari 0,8927 liter menjadi 0,8115 liter. Hal ini disebabkan oleh dampak negatif peningkatan konsentrasi elektrolit yang menyebabkan terbentuknya endapan yang menghambat permukaan elektroda. Menurut Ayu (2020) hambatan listrik berkurang seiring dengan peningkatan luas elektroda relatif terhadap ketebalannya. Penambahan jumlah sel elektroda memperluas permukaan kontak, yang memungkinkan arus listrik lebih merata dan mempercepat reaksi penguraian molekul air. Menurut Sarira dkk (2021) semakin lama proses elektrolisis berlangsung, larutan menjadi lebih jenuh, membatasi pergerakan ion, dan mengurangi daya hantar listrik.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan 18 sel elektroda dengan konsentrasi 0,3 M menghasilkan volume hidrogen tertinggi sebesar 0,8927 liter, menunjukkan efisiensi sistem yang optimal. Ini menunjukkan bahwa larutan elektrolit memiliki jumlah ion yang cukup untuk mendukung reaksi elektrolisis tanpa menimbulkan efek samping seperti kelebihan potensial tinggi atau pembentukan produk sampingan. Laju produksi gas hidrogen dipengaruhi oleh jumlah sel elektroda dan jenis elektrolit, dengan hasil terbaik dicapai menggunakan elektroda *stainless steel* 304. Variasi jumlah sel elektroda dan jenis elektrolit memengaruhi jumlah gas hidrogen yang dihasilkan. Hal ini juga dipengaruhi oleh porositas struktur internal sel elektroda, yang berpengaruh pada aliran arus. Selain itu, porositas ini meningkatkan penyerapan serta kemurnian gas hidrogen.

Pengaruh Jumlah Sel Elektroda dan Konsentrasi KOH Terhadap *Specific Energy Consumption* (SEC)

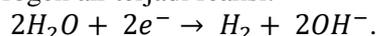
Penambahan elektrolit dapat mempercepat laju reaksi kimia, sehingga mempercepat pula proses elektrolisis. Elektrolit digunakan untuk mempercepat penguraian air menjadi gas H₂ dan O₂, serta mengurangi waktu yang dibutuhkan untuk mencapai hasil yang sama, sehingga menghemat konsumsi energi. Dalam penelitian ini, elektrolit yang digunakan adalah Kalium Hidrosida (KOH). Berdasarkan data yang diperoleh dari proses elektrolisis dan hasil perhitungan, grafik dapat dibuat untuk menunjukkan pengaruh konsentrasi KOH terhadap pemakaian energi dapat dilihat pada gambar 3.



Gambar 3. Pengaruh jumlah sel elektroda dan konsentrasi KOH terhadap *specific energy consumption* (SEC)

Specific Energy Consumption (SEC) merupakan parameter yang menggambarkan jumlah energi listrik yang dibutuhkan untuk menghasilkan satu unit massa hidrogen. Faktor yang mempengaruhinya yaitu tegangan sel, efisiensi sel dan tempo. Dari grafik di atas, terlihat bahwa jumlah sel elektroda mempengaruhi konsumsi energi spesifik *Specific Energy Consumption (SEC)* dalam satuan liter pada variasi konsentrasi. Semakin banyak jumlah sel elektroda, arus listrik yang disuplai akan terdistribusi ke lebih banyak sel, yang biasanya menghasilkan volume hidrogen yang lebih besar.

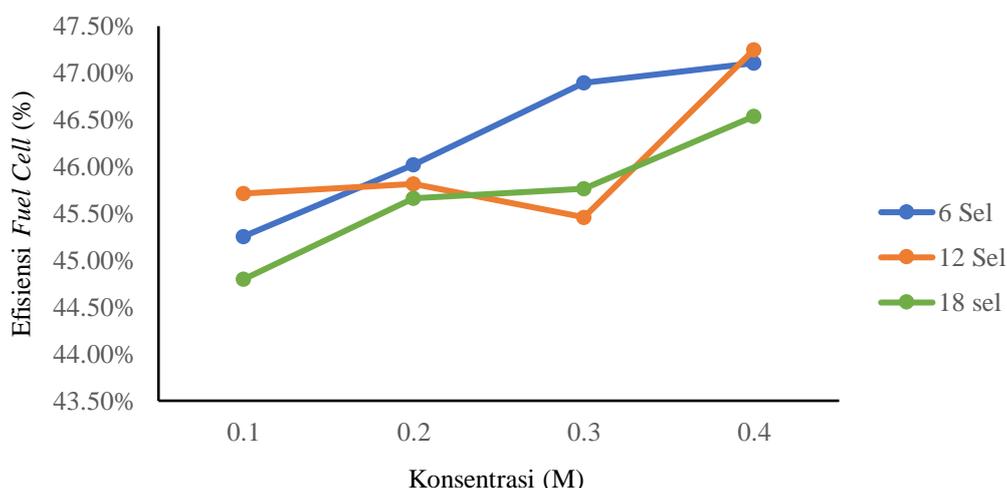
Pada grafik, terlihat bahwa penggunaan energi meningkat dari 20.197,43 joule pada konsentrasi 0,1 M menjadi 23.378,32 joule pada konsentrasi 0,2 M untuk 6 sel. Konsumsi energi menurun menjadi 22.240,88 joule pada konsentrasi 0,3 M karena peningkatan konduktivitas elektrolit, meskipun ada efek negatif seperti pembentukan endapan. Namun, pada konsentrasi 0,4 M, konsumsi energi kembali naik menjadi 37.028,02 joule. Menurut Ben Mhahe dkk (2024) peningkatan konsentrasi elektrolit KOH dapat memperpanjang waktu pembentukan gelembung gas dan lapisan gas, serta mempengaruhi pelepasan listrik. Konsentrasi elektrolit yang lebih tinggi mempercepat reaksi elektrokimia, yang dapat menyebabkan fluktuasi konsumsi energi, baik dalam bentuk penurunan maupun peningkatan [10]. Pada 12 sel, penggunaan energi meningkat seiring dengan kenaikan konsentrasi dari 0,1 M hingga 0,4 M, mulai dari 29.502 joule hingga 49.370,70 joule. Menurut Aditya dkk (2023) jumlah sel elektroda mempengaruhi arus listrik yang terdistribusi ke setiap sel. Semakin banyak sel elektroda, semakin besar arus yang disuplai akan terbagi pada setiap sel semakin banyak [11]. Sementara itu Fahreza dkk (2019) menjelaskan bahwa peningkatan konsentrasi elektrolit berpengaruh pada proses elektrolisis air. Semakin tinggi konsentrasi elektrolit, semakin besar perubahan suhu dalam rentang waktu tertentu, dan semakin besar konsentrasi larutan, semakin tinggi produksi gas. Ini terjadi karena peningkatan konsentrasi elektrolit dalam larutan mengurangi hambatan listrik, mempercepat reaksi kimia, dan menghasilkan lebih banyak gas, dengan konsumsi energi tertinggi mencapai 49.370,70 joule [12]. Pada penggunaan 18 sel, energi yang dibutuhkan bervariasi dengan konsentrasi elektrolit. Pada konsentrasi 0,1 M, energi yang digunakan mencapai 36.034,29 joule. Ketika konsentrasi meningkat menjadi 0,2 M, konsumsi energi turun menjadi 34.735,86 joule, dan pada 0,3 M, energi yang dibutuhkan menurun lebih lanjut menjadi 33.269,72 joule. Namun, pada konsentrasi 0,4 M, terjadi sedikit peningkatan energi menjadi 34.158,15 joule. Menurut CE Rustana dkk (2020), penurunan efektivitas proses elektrolisis disebabkan oleh korosi pada sel elektroda akibat pengaruh elektrolit dan fluktuasi arus listrik yang tidak konstan. Kondisi ini menyebabkan penurunan bertahap dalam laju produksi gas hidrogen meskipun proses elektrolisis tetap berlangsung. Peristiwa korosi pada proses oksidasi pada elektroda positif (anoda), jika elektrolitnya adalah air, maka pada anoda terjadi reaksi: $2H_2O \rightarrow O_2 + 4H^+ + 4e^-$. Sedangkan pada proses reduksi pada elektroda negatif (katoda) pembentukan gas hidrogen air terjadi reaksi:



Hasil dari gambar, konsentrasi KOH 0,3 M dengan 18 sel yang paling optimal adalah dengan pemakaian energi sebesar 33.269,72 joule, sehingga berpengaruh dari hasil produksi gas hidrogen yang paling tinggi, dengan pemakaian energi paling rendah, menandakan efisiensi optimal pada konfigurasi ini. Menurut pernyataan Fan dkk (2021) produksi gas hidrogen pada penggunaan elektroliser yang tinggi akan berkontribusi menurunkan biaya apabila mengurangi energi yang dikonsumsi untuk dikompresi. Namun pada produksi hidrogen yang tinggi berdampak pada konsumsi energi elektrolisis serta membentuk persilangan pada hasil grafik produksi gas hidrogen. [13]

Pemanfaatan Gas Hidrogen terhadap Hasil Elektrolisis Sebagai Sumber Energi *Fuel Cell* Ditinjau dari Efisiensi *Fuel Cell*

Elektrolisis air merupakan teknologi produksi gas hidrogen tanpa emisi yang paling efektif ketika memanfaatkan energi terbarukan sebagai sumber listrik pada pemanfaatan *fuel cell* (*Proton Exchanger Membran*) serta menghasilkan efisiensi pada proses elektrolisis dapat dilihat pada gambar 4.



Gambar 4. Pemanfaatan Gas Hidrogen Hasil Elektrolisis Terhadap Efisiensi *Fuel Cell* (*Proton Exchange Membrane*) Ditinjau dari Efisiensi *Fuel Cell*

Pengaruh Konsentrasi larutan elektrolit yaitu Kalium Hidroksida (KOH) berperan penting dalam efisiensi *fuel cell* karena berkaitan langsung dengan ketersediaan ion-ion yang mendukung reaksi elektrokimia, sedangkan pengaruh jumlah sel terhadap efisiensi *fuel cell* menentukan luas permukaan elektroda aktif yang berpartisipasi dalam reaksi elektrokimia. Gambar 4 menunjukkan efisiensi *fuel cell* yang dihasilkan dari proses elektrolisis dengan jumlah sel elektroda yang berbeda (6, 12, dan 18 sel) serta variasi konsentrasi KOH (0,1 M, 0,2 M, 0,3 M dan 0,4 M). Pada 6 sel elektroda, efisiensi *fuel cell* meningkat seiring dengan peningkatan konsentrasi KOH: 45,26% pada 0,1 M, 46,02% pada 0,2 M, 46,90% pada 0,3 M, dan 47,11% pada 0,4 M. Peningkatan ini disebabkan oleh semakin banyaknya ion yang tersedia untuk reaksi elektrokimia, yang berkontribusi pada peningkatan efisiensi *fuel cell*, terutama pada konsentrasi yang lebih tinggi. Pada 12 sel elektroda, efisiensi *fuel cell* dengan konsentrasi 0,1 M mencapai 45,71%. Saat konsentrasi meningkat menjadi 0,2 M, efisiensi naik menjadi 45,81%, namun turun menjadi 45,46% pada konsentrasi 0,3 M. Penurunan ini menunjukkan bahwa semakin banyak sel elektroda, distribusi dan aliran larutan serta gas dalam *fuel cell* mungkin tidak optimal, yang dapat menurunkan efisiensi. Safitri (2016) menyatakan bahwa efisiensi bisa dipengaruhi oleh faktor-faktor seperti suhu yang terlalu tinggi, yang dapat mengganggu keseimbangan kelembaban membrane *fuel cell* dan menurunkan tegangan serta arus listrik yang dihasilkan. Pada konsentrasi 0,4 M, efisiensi kembali meningkat menjadi 47,25%. Fluktuasi efisiensi ini menunjukkan ketidakstabilan pada konsentrasi tertentu, tetapi potensi peningkatan daya pada konsentrasi yang lebih tinggi. Novoa et al. (2024) menambahkan bahwa peningkatan tekanan dapat memperkecil ukuran gelembung gas, memudahkan keluarnya gas dari elektroda, dan mengurangi aliran gas hidrogen. Selain itu, suhu yang lebih tinggi meningkatkan efisiensi elektrolitik dengan mengurangi kebutuhan energi listrik, sehingga aliran hidrogen meningkat. Untuk 18 sel pada konsentrasi 0,1 M, efisiensi yang dihasilkan sebesar 44,80 %. Pada konsentrasi 0,2 M meningkat sebesar 45,66 %. Pada konsentrasi 0,3 M efisiensi meningkat menjadi 45,77 %. Pada konsentrasi 0,4 M, efisiensi meningkat lebih tinggi menjadi 46,54 %. Hal ini mengalami penurunan dari jumlah sel 12 sel elektroda pada 18 sel elektroda dikarenakan arus yang tidak merata, peningkatan resistansi internal sehingga mengurangi efisiensi produksi gas hidrogen.

Fuel cell dengan 18 sel menghasilkan efisiensi yang meningkat terus menerus dibandingkan dengan 6 sel dan 12 sel. Peningkatan signifikan terjadi pada konsentrasi 0,2 M dan efisiensi tetap stabil dengan sedikit peningkatan pada konsentrasi yang lebih tinggi. Hal ini menunjukkan bahwa peningkatan efisiensi *fuel cell* seiring dengan kenaikan konsentrasi larutan, maka semakin banyak ion-ion yang tersedia untuk reaksi elektrokimia di dalam *fuel cell* dan ketika jumlah sel meningkat, overpotensial (penurunan tegangan akibat hambatan resistif) pada elektroda juga meningkat, terutama jika aliran larutan dan gas tidak terkontrol dengan baik. Overpotensial ini dapat mengalami penurunan efisiensi karena semakin besar tegangan yang diperlukan untuk menggerakkan reaksi elektrokimia. Menurut Zhang et al (2019), pada jumlah sel yang lebih banyak, overpotensial bisa meningkat, mengurangi efisiensi keseluruhan pada *fuel cell*.

Semakin banyak jumlah sel, semakin besar daya yang dihasilkan oleh *fuel cell*. Dari grafik di atas untuk mendapatkan titik maksimal adalah gas hidrogen hasil elektrolisis larutan KOH 18 sel menunjukkan

efisiensi yang tertinggi pada konsentrasi 0,3 M sebesar 45,77 % sehingga lampu LED dapat menyala selama 140 menit. Grafik ini menunjukkan pentingnya pemilihan jumlah sel yang tepat dan tegangan operasi untuk mengoptimalkan pemanfaatan gas hidrogen sebagai sumber energi *fuel cell*.

Menurut Departemen Energi AS (2023), *fuel cell* adalah perangkat paling efisien dalam mengekstraksi energi dari bahan bakar, dengan efisiensi mencapai 50% pada jenis *Proton Exchange Membrane* (PEM). Menurut El-Shafie (2023) Teknologi PEM digunakan sebagai membran penukar ion dalam *fuel cell* karena sangat efisien dalam menghasilkan hidrogen murni. Pengembangan teknologi elektrolisis air menggunakan *Proton Exchange Membrane Fuel Cell* (PEMFC) mencakup peningkatan kinerja elektrolit dan sistem, serta integrasinya dengan energi terbarukan [14].

Menurut Godfrey et al (2024), proses elektrolisis menggunakan *Proton Exchange Membrane Fuel Cell* (PEMFC) memiliki keuntungan besar karena kemampuannya yang cepat menyesuaikan diri dengan fluktuasi pasokan daya, salah satu sifat utama sumber energi terbarukan. Untuk mengembangkan teknologi elektrolisis *Proton Exchange Membrane Fuel Cell* (PEMFC), sangat penting untuk mencapai efisiensi maksimum pada tumpukan sel dengan biaya yang serendah mungkin. Sejak tahun 2010, penggunaan daya (kWh/kg) dalam sistem elektrolisis PEMFC telah mengalami penurunan, yang menunjukkan peningkatan efisiensi dalam produksi gas hidrogen. [15]

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil dan pembahasan di atas, maka kesimpulan yang dapat diambil dari hasil penelitian dengan hasil volume gas hidrogen yang dihasilkan pada jumlah sel elektroda 18 sel sebesar 0,8927 liter pada konsentrasi Kalium Hidroksida (KOH) 0,3 M, dengan tegangan 10 volt dalam waktu 30 menit, menunjukkan bahwa kombinasi ini adalah yang paling optimal untuk produksi gas hidrogen. Sedangkan dalam proses ini pemakaian energi yang paling optimal adalah jumlah sel 18 elektroda pada konsentrasi KOH 0,3 M sebesar 33.269,72 joule karena berdasarkan hasil produksi gas hidrogen yang tertinggi akan menghasilkan pemakaian energi yang rendah. Sedangkan hasil gas hidrogen pada proses elektrolisis yang kemudian dimanfaatkan terhadap pengoperasian PEM *fuel cell* yang paling optimal menghasilkan efisiensi tertinggi yang dihasilkan *fuel cell* pada jumlah sel elektroda 12 dengan konsentrasi KOH 0,4 M sebesar 47,25 %. Sementara efisiensi terendah yang dihasilkan *fuel cell* sebesar 44,80 %. Adapun berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dalam meningkatkan kinerja alat elektrolisis agar lebih optimal untuk meningkatkan produksi gas hidrogen, untuk mencegah terjadinya korosi dengan memperbaiki jenis elektroda yang digunakan yaitu *stainles steel* 304 dapat dicegah dengan menggunakan jenis elektroda *stainles steel* 316 atau titanium, karena dapat berfungsi sebagai meningkatkan kapasitas tabung, meningkatkan daya pada *power supply* agar tegangan dapat lebih meningkat.

5. Konflik Kepentingan

Semua penulis tidak memiliki konflik kepentingan (*conflict of interest*) pada publikasi artikel ini.

Daftar Pustaka

- [1] W. Ajeeb, R. Costa Neto, and P. Baptista, "Life cycle assessment of green hydrogen production through electrolysis: A literature review," *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, vol. 69, no. April, 2024.
- [2] M. Muthaharussayidun, S. Anis, and W. Aryadi, "Uji Produksi Gas Hidrogen Melalui Elektrolisis Plasma Air Laut Dengan Katalis Koh Dan Zat Aditif Etanol," *Jurnal Inovasi Mesin*, vol. 1, no. 1, pp. 14–21, 2019.
- [3] S. J. Muchtar and C. E. Rustana, "Studi Pengaruh Jenis Elektroda Terhadap Produksi Gas Hidrogen Dengan Proses Elektrolisis Air," vol. IX, pp. 5–8, 2020.
- [4] D. Lestari Ayu, "Pengaruh Variasi Jumlah Elektroda Dan Jenis Katalis Terhadap Produksi Gas Hidrogen Pada Elektrolisis Air Laut," *Jurnal Pendidik Indonesia*, vol. 5, no. 2, pp. 1–11, 2022.
- [5] M. A. Siregar, K. Umurani, and W. S. Damanik, "Pengaruh Jenis Katoda Terhadap Gas Hidrogen Yang Dihasilkan Dari Proses Elektrolisis Air Garam," *Media Mesin: Majalah Teknik Mesin*, vol. 21, no. 2, pp. 57–65, 2020.
- [6] B. Yohandri, "Produksi Gas Hidrogen Ditinjau dari Pengaruh Duplex Stainless Steel Terhadap Variasi Konsentrasi Katalis dan Jenis Air yang Dilengkapi Arrestor," vol. 11, no. 03, pp. 46–52, 2020.

- [7] F. M. Sarira, A. Z. Syaiful, and M. Tang, “Pemanfaatan Energi Surya Dalam Pembuatan Gas Hidrogen Melalui Proses Elektrolisis air dengan Variasi Katalis KOH, NaCl DAN NaHCO₃,” *Saintis*, vol. 2, no. 2, pp. 52–56, 2021.
- [8] W. D. Callister Jr and D. G. Rethwisch, *Characteristics, Application, and Processing of Polymers*. 2003.
- [9] M. P. Novoa, C. Rengifo, M. Cobo, and M. Figueredo, “*Techno-economic assessment of the Synthetic Natural Gas production using different electrolysis technologies and product applications*,” *Int J Hydrogen Energy*, vol. 78, no. July, pp. 889–900, 2024.
- [10] F. Ben Mhahe, Y. Zhang, C. Chen, and W. I. Umoren, “*Investigation of the influence of different types of electrolytes on the performance of the Electrochemical Discharge Machining process during micromachining of molybdenum*,” *Int J Electrochem Sci*, vol. 19, no. 7, p. 100647, 2024.
- [11] M. W. Aditya and I. Febriana, “Efektivitas Tegangan Terhadap Produksi Gas Hidrogen Melalui Proses Elektrolisis Air Laut,” vol. 7, no. 2020, pp. 30047–30053, 2023.
- [12] D. Fahreza, D. Kurniawati, N. Subeki, and K. Person, “Analisis Produksi Gas Hidrogen Dan Gas Oksigen Dalam Proses Elektrolisis,” *Prosiding SENTRA (Seminar Teknologi dan Rekayasa)*, vol. 0, no. 4, pp. 50–54, 2019.
- [13] L. Fan, Z. Tu, and S. H. Chan, “*Recent development of hydrogen and fuel cell technologies: A review*,” *Energy Reports*, vol. 7, pp. 8421–8446, 2021, doi: 10.1016/j.egy.2021.08.003.
- [14] M. El-Shafie, “Hydrogen production by water electrolysis technologies: A review,” *Results in Engineering*, vol. 20, no. July, p. 101426, 2023.
- [15] S. G. Nnabuife, A. K. Hamzat, J. Whidborne, B. Kuang, and K. W. Jenkins, “*Integration of renewable energy sources in tandem with electrolysis: A technology review for green hydrogen production*,” *Int J Hydrogen Energy*, vo. 107, pp. 218-240, 2025.