



## Pengaruh Material Elektroda dan Variasi Elektrolit terhadap Kinerja Elektrolisis Air pada Arus 10–50 A dalam Sistem Skala Kecil

Nadira Ghina Azzahra<sup>1\*</sup>, Muhammad Ridwan<sup>2</sup>, Lia Nur Octavia<sup>3</sup>, Rudina Okvasari<sup>4</sup>

<sup>1-4</sup>Institut Teknologi Perusahaan Listrik Negara, Indonesia

Email: [nadiraghina@itpln.ac.id](mailto:nadiraghina@itpln.ac.id)<sup>1</sup>, [m.ridwan@itpln.ac.id](mailto:m.ridwan@itpln.ac.id)<sup>2</sup>, [lianuroctavia@itpln.ac.id](mailto:lianuroctavia@itpln.ac.id)<sup>3</sup>, [rudina@itpln.ac.id](mailto:rudina@itpln.ac.id)<sup>4</sup>

\*Penulis Korespondensi: [nadiraghina@itpln.ac.id](mailto:nadiraghina@itpln.ac.id)

**Abstract.** *The growing demand for clean energy sources has driven the development of efficient hydrogen production technologies, one of which is water electrolysis. The performance of electrolysis systems is influenced by various parameters; however, understanding of the dominant factors in small-scale systems remains limited. This study aims to examine the effects of electrolyte type (NaOH, KOH, and NaCl), electrolyte concentration (1N–5N), electrode material (stainless steel 316 and aluminum), and electrode thickness on the performance of water electrolysis under electric current variations of 10–50 A. System performance was evaluated based on the volume of gas produced within a fixed operating time of 5 minutes. The results indicate that increasing electric current consistently enhances the volume of gas generated under all experimental conditions. Nevertheless, differences in system performance are more strongly influenced by electrolyte characteristics than by other parameters. The KOH electrolyte produced the highest gas volume across all current variations, with an increase of approximately  $\pm 10$ – $15\%$  compared to NaOH and  $\pm 20$ – $30\%$  compared to NaCl. Increasing electrolyte concentration improved performance up to a certain limit before mass transport limitations occurred. Overall, system performance is more strongly governed by electrolyte type and concentration than by electrode characteristics, indicating that electrolyte-based optimization is a more effective approach.*

**Keywords:** *Density; Electrode Material; Electrolyte Conductivity; Electrolyte Variation; Water Electrolysis.*

**Abstrak.** Kebutuhan akan sumber energi bersih mendorong pengembangan teknologi produksi hidrogen yang efisien, salah satunya melalui elektrolisis air. Kinerja sistem elektrolisis dipengaruhi oleh berbagai parameter, namun pemahaman mengenai faktor dominan pada sistem skala kecil masih terbatas. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji pengaruh jenis elektrolit (NaOH, KOH, dan NaCl), konsentrasi elektrolit (1N–5N), material elektroda (*stainless steel* 316 dan aluminium), serta ketebalan elektroda terhadap kinerja elektrolisis air pada variasi arus listrik 10–50 A. Kinerja sistem dievaluasi berdasarkan volume gas yang dihasilkan dalam waktu operasi tetap selama 5 menit. Hasil menunjukkan bahwa peningkatan arus listrik secara konsisten meningkatkan volume gas yang dihasilkan pada seluruh kondisi penelitian ini. Namun demikian, perbedaan performa antar sistem lebih dipengaruhi oleh karakteristik elektrolit dibandingkan parameter lainnya. Elektrolit KOH menghasilkan volume gas tertinggi pada seluruh variasi arus, dengan peningkatan sekitar  $\pm 10$ – $15\%$  dibandingkan NaOH dan  $\pm 20$ – $30\%$  dibandingkan NaCl. Peningkatan konsentrasi elektrolit meningkatkan kinerja hingga batas tertentu sebelum mengalami keterbatasan transport massa. Secara keseluruhan, kinerja sistem lebih dikendalikan oleh jenis dan konsentrasi elektrolit dibandingkan karakteristik elektroda, sehingga optimasi berbasis elektrolit menjadi pendekatan yang lebih efektif.

**Kata kunci:** Elektrolisis Air; Kepadatan; Konduktivitas Elektrolit; Material Elektroda; Variasi Elektrolit.

### 1. LATAR BELAKANG

Kebutuhan energi global terus mengalami peningkatan seiring dengan pertumbuhan populasi, industrialisasi, dan perkembangan teknologi modern. Diperkirakan konsumsi energi global akan meningkat hampir dua kali lipat pada tahun 2050 dibandingkan dengan kondisi saat ini, yang sebagian besar masih bergantung pada bahan bakar fosil (Dash et al., 2023). Kondisi ini

mendorong ketergantungan yang tinggi terhadap bahan bakar fosil yang pada akhirnya berdampak pada meningkatnya emisi gas rumah kaca dan perubahan iklim global (Yue et al., 2021).

Dalam beberapa dekade terakhir, isu dekarbonisasi menjadi fokus utama dalam pengembangan sistem energi berkelanjutan. Oleh karena itu, diperlukan alternatif sumber energi yang tidak hanya mampu memenuhi kebutuhan energi global, tetapi juga memiliki dampak lingkungan yang minimal (Dawood et al., 2020; Yue et al., 2021). Dalam konteks ini, hidrogen dipandang sebagai salah satu pembawa energi (*energy carrier*) yang menjanjikan karena memiliki densitas energi yang tinggi serta tidak menghasilkan emisi karbon pada saat digunakan (Dawood et al., 2020; Ishaq et al., 2022).

Hidrogen memiliki potensi besar untuk digunakan dalam berbagai aplikasi, seperti bahan bakar kendaraan berbasis *fuel cell*, penyimpanan energi terbarukan, serta sebagai bahan baku dalam industri kimia. Selain itu, hidrogen juga dapat diproduksi melalui berbagai metode, termasuk reforming bahan bakar fosil, gasifikasi biomassa, dan elektrolisis air (Dash et al., 2023; Ishaq & Dincer, 2021; Shiva Kumar & Himabindu, 2019; Vedrtam et al., 2025). Di antara metode tersebut, elektrolisis air menjadi salah satu metode yang paling menjanjikan karena mampu menghasilkan hidrogen dengan tingkat kemurnian tinggi tanpa menghasilkan emisi karbon secara langsung, terutama jika sumber energi listrik yang digunakan berasal dari energi terbarukan seperti tenaga surya dan angin.

Proses elektrolisis air melibatkan pemisahan molekul air menjadi gas hidrogen dan oksigen melalui reaksi elektrokimia dengan bantuan arus listrik. Reaksi ini terdiri dari dua proses utama, yaitu reaksi evolusi hidrogen (*Hydrogen Evolution Reaction/HER*) pada katoda dan reaksi evolusi oksigen (*Oxygen Evolution Reaction/OER*) pada anoda. Meskipun konsep elektrolisis air telah dikenal sejak lama, pengembangan teknologi ini masih menghadapi berbagai tantangan, terutama dalam hal efisiensi energi dan volume gas yang dihasilkan. Efisiensi sistem elektrolisis sangat dipengaruhi oleh berbagai faktor, seperti overpotensial elektroda, resistansi larutan, serta fenomena pembentukan gelembung gas pada permukaan elektroda yang dapat menghambat transfer massa dan menurunkan kinerja sistem secara keseluruhan (Paulec et al., 2025; Vedrtam et al., 2025; Zhang et al., 2026).

Salah satu faktor utama yang mempengaruhi kinerja elektrolisis air adalah jenis dan konsentrasi elektrolit yang digunakan. Elektrolit berperan dalam meningkatkan konduktivitas ionik larutan sehingga dapat menurunkan hambatan listrik selama proses elektrolisis berlangsung.

Elektrolit berbasis alkali, seperti kalium hidroksida (KOH) dan natrium hidroksida (NaOH), diketahui memiliki konduktivitas ionik yang tinggi karena keberadaan ion  $\text{OH}^-$  yang mobilitasnya relatif tinggi dalam larutan (de Kam et al., 2024; Pereira et al., 2026; Zhang et al., 2026). Sebaliknya, elektrolit seperti natrium klorida (NaCl) memiliki karakteristik yang berbeda dan tidak secara langsung mendukung reaksi elektrolisis air secara optimal karena adanya kemungkinan reaksi samping yang dapat terjadi pada sistem (Kim et al., 2025; Wu et al., 2025). Selain jenis elektrolit, konsentrasi larutan juga berperan penting dalam menentukan kinerja sistem, di mana peningkatan konsentrasi umumnya akan meningkatkan konduktivitas larutan, namun pada kondisi tertentu dapat menyebabkan peningkatan viskositas atau efek lainnya yang justru menghambat proses elektrolisis.

Selain elektrolit, karakteristik elektroda juga merupakan faktor penting dalam menentukan performa sistem elektrolisis. Material elektroda yang umum digunakan antara lain *stainless steel*, nikel, dan aluminium, yang masing-masing memiliki sifat elektrokimia, konduktivitas listrik, serta ketahanan terhadap korosi yang berbeda. *Stainless steel* dikenal memiliki stabilitas yang baik dalam berbagai kondisi elektrolit, sedangkan aluminium memiliki keunggulan dari sisi biaya dan ketersediaan, namun memiliki kecenderungan untuk mengalami reaksi samping dalam lingkungan tertentu. Di samping itu, karakteristik fisik elektroda, seperti ketebalan dan luas permukaan, juga dapat mempengaruhi distribusi arus listrik serta luas area aktif reaksi, yang pada akhirnya berdampak pada volume gas yang dihasilkan (Fattah et al., 2025; Sultana et al., 2020; Vedral et al., 2025).

Berbagai penelitian sebelumnya telah mengkaji pengaruh masing-masing parameter tersebut terhadap kinerja elektrolisis air. Namun demikian, sebagian besar studi yang dilakukan cenderung berfokus pada kondisi arus tinggi atau sistem skala industri, dengan tujuan untuk meningkatkan efisiensi produksi hidrogen dalam skala besar. Pendekatan ini seringkali tidak merepresentasikan kondisi operasi pada sistem elektrolisis skala kecil atau sistem dengan daya rendah, yang justru banyak digunakan dalam aplikasi desentralisasi, seperti sistem energi mandiri berbasis energi terbarukan. Selain itu, banyak penelitian yang mengkaji parameter-parameter tersebut secara terpisah, sehingga belum memberikan gambaran yang komprehensif mengenai interaksi antara jenis elektrolit, konsentrasi larutan, material elektroda, dan karakteristik fisik elektroda dalam satu sistem yang terintegrasi (Fattah et al., 2025; Sultana et al., 2020; Vedral et al., 2025).

Keterbatasan tersebut menunjukkan adanya kebutuhan untuk melakukan kajian yang lebih sistematis terhadap pengaruh berbagai parameter dalam kondisi operasi yang seragam, khususnya pada sistem elektrolisis pada berbagai variasi arus listrik dalam skala laboratorium. Pendekatan ini penting untuk memahami faktor mana yang memiliki pengaruh paling dominan terhadap kinerja sistem, sehingga dapat digunakan sebagai dasar dalam perancangan dan optimasi sistem elektrolisis yang lebih efisien dan ekonomis. Dalam konteks ini, pemahaman mengenai perbandingan kontribusi antara sifat elektrolit dan karakteristik elektroda menjadi aspek yang krusial, terutama dalam menentukan prioritas optimasi sistem (Fayez et al., 2026).

Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengkaji secara sistematis pengaruh variasi jenis elektrolit (NaOH, KOH, dan NaCl), konsentrasi elektrolit (1N hingga 5N), material katoda (aluminium dan *stainless steel* 316), serta ketebalan katoda terhadap kinerja elektrolisis air pada variasi arus listrik sebesar 10 hingga 50 A. Kinerja sistem dievaluasi berdasarkan volume gas yang dihasilkan dalam waktu operasi tetap selama 5 menit pada setiap kondisi penelitian, sehingga memungkinkan dilakukan analisis komparatif terhadap pengaruh masing-masing variabel.

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam mengidentifikasi faktor dominan yang mempengaruhi kinerja elektrolisis air pada berbagai kondisi arus listrik, serta memberikan dasar ilmiah dalam pengembangan sistem elektrolisis yang sederhana, efisien, dan berbiaya rendah. Selain itu, hasil penelitian ini juga diharapkan dapat memperkuat pemahaman mengenai peran relatif antara karakteristik elektrolit dan elektroda dalam sistem elektrolisis, sehingga dapat menjembatani kesenjangan antara studi fundamental elektrokimia dan implementasi praktis pada skala kecil.

## 2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan menggunakan metode eksperimen laboratorium untuk mengkaji pengaruh variasi jenis dan konsentrasi elektrolit serta karakteristik elektroda terhadap kinerja elektrolisis air. Elektrolit yang digunakan meliputi natrium hidroksida (NaOH), kalium hidroksida (KOH), dan natrium klorida (NaCl), yang masing-masing disiapkan dalam konsentrasi 1N, 2N, 3N, 4N, dan 5N. Air digunakan sebagai medium utama dalam proses elektrolisis.

Elektroda yang digunakan terdiri dari *stainless steel* 316 dan aluminium sebagai katoda, dengan variasi ketebalan masing-masing sebesar 0,8 mm dan 1 mm. Sistem elektrolisis yang digunakan merupakan reaktor sederhana yang dihubungkan dengan sumber arus searah (DC power

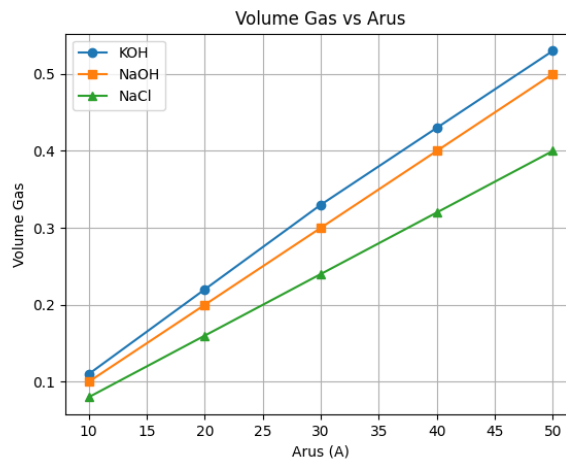
*supply*). Proses elektrolisis dijalankan pada variasi arus listrik sebesar 10 A, 20 A, 30 A, 40 A, dan 50 A pada suhu ruang, sementara parameter lain dijaga konstan untuk memastikan konsistensi kondisi pengujian.

Larutan elektrolit dimasukkan ke dalam reaktor elektrolisis, kemudian elektroda dipasang dengan konfigurasi tetap. Gas yang dihasilkan selama proses elektrolisis dikumpulkan menggunakan metode perpindahan air dengan bantuan tabung ukur (*eudiometer*). Pengukuran volume gas dilakukan selama waktu operasi tetap selama 5 menit untuk setiap variasi kondisi penelitian.

Data volume gas yang diperoleh digunakan sebagai parameter utama untuk mengevaluasi kinerja sistem elektrolisis. Analisis dilakukan secara komparatif dengan membandingkan volume gas yang dihasilkan pada setiap variasi jenis elektrolit, konsentrasi larutan, material elektroda, ketebalan elektroda, dan arus listrik. Pendekatan ini digunakan untuk mengidentifikasi pengaruh relatif masing-masing parameter serta menentukan faktor dominan yang mempengaruhi kinerja sistem elektrolisis air.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### Pengaruh Arus Listrik terhadap Volume Gas yang Dihasilkan



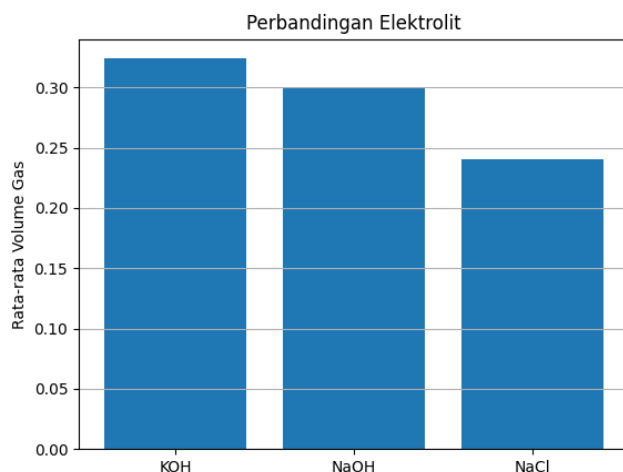
**Gambar 1.** Hubungan Antara Arus Listrik dan Volume Gas yang Dihasilkan pada Berbagai Jenis Elektrolit.

Volume gas meningkat secara konsisten seiring peningkatan arus listrik pada seluruh kondisi penelitian, menunjukkan kesesuaian dengan hukum Faraday. Perbedaan antar elektrolit tetap terlihat pada setiap variasi arus, yang menunjukkan bahwa karakteristik elektrolit turut mempengaruhi kinerja sistem.

Merujuk pada gambar 1, hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan arus listrik dari 10 A hingga 50 A secara konsisten meningkatkan volume gas yang dihasilkan pada seluruh variasi elektrolit dan elektroda. Tren ini sejalan dengan hukum Faraday, di mana jumlah muatan listrik yang mengalir berbanding lurus dengan jumlah zat yang dihasilkan selama proses elektrolisis. Dengan demikian, arus listrik berperan sebagai parameter penggerak utama dalam sistem elektrolisis (Paulec et al., 2025; Vedrtnam et al., 2025).

Meskipun demikian, perbedaan performa antar jenis elektrolit tetap terlihat jelas pada setiap variasi arus, yang menunjukkan bahwa karakteristik elektrolit tetap menjadi faktor penentu utama dalam efisiensi sistem.

### Pengaruh jenis Elektrolit terhadap Volume Gas yang dihasilkan



**Gambar 2.** Perbandingan Rata-Rata Volume Gas yang Dihasilkan pada Masing-Masing Jenis Elektrolit.

KOH menghasilkan volume gas tertinggi, diikuti oleh NaOH dan NaCl. Perbedaan ini menunjukkan bahwa sifat elektrolit, khususnya kemampuan menghantarkan ion dalam larutan, berpengaruh terhadap efisiensi sistem elektrolisis.

Merujuk pada gambar 2, pada seluruh variasi arus listrik yang diuji, KOH secara konsisten menghasilkan volume gas tertinggi, diikuti oleh NaOH dan NaCl. Secara kuantitatif, penggunaan KOH meningkatkan volume gas sekitar  $\pm 10\text{--}15\%$  dibandingkan NaOH dan  $\pm 20\text{--}30\%$  dibandingkan NaCl pada kondisi yang sama. Nilai tersebut diperoleh dari perbandingan rata-rata data eksperimen pada waktu operasi yang seragam (5 menit). Temuan ini diperkuat oleh data kuantitatif pada Tabel 1, yang menunjukkan bahwa variasi elektrolit menghasilkan perbedaan kinerja yang signifikan, sehingga menegaskan bahwa karakteristik elektrolit merupakan faktor yang lebih berpengaruh dibandingkan parameter lainnya dalam sistem elektrolisis yang diteliti.

**Tabel 1 .** Interpretasi Gas Berdasarkan Jenis Larutan Elektrolit.

Elektrolit	Rata-rata Volume Gas	Selisih terhadap KOH (%)	Interpretasi
KOH	0,325	—	Performa tertinggi
NaOH	0,300	-7,7%	Sedikit lebih rendah dari KOH
NaCl	0,240	-26,2%	Jauh lebih rendah

Perbedaan ini dapat dijelaskan melalui karakteristik konduktivitas ionik masing-masing elektrolit. KOH dan NaOH merupakan elektrolit kuat yang menghasilkan ion  $\text{OH}^-$  dengan mobilitas tinggi dalam larutan, sehingga mampu menurunkan resistansi larutan dan meningkatkan efisiensi transfer muatan selama proses elektrolisis (de Kam et al., 2024; Pereira et al., 2026; Zhang et al., 2026). Sebaliknya, NaCl menghasilkan ion  $\text{Cl}^-$  yang dapat memicu reaksi samping, seperti evolusi klorin, sehingga mengurangi efisiensi pembentukan gas hidrogen dan oksigen. Akibatnya, volume gas yang dihasilkan pada penggunaan NaCl menjadi lebih rendah dibandingkan elektrolit berbasis alkali (Kim et al., 2025; Wu et al., 2025).

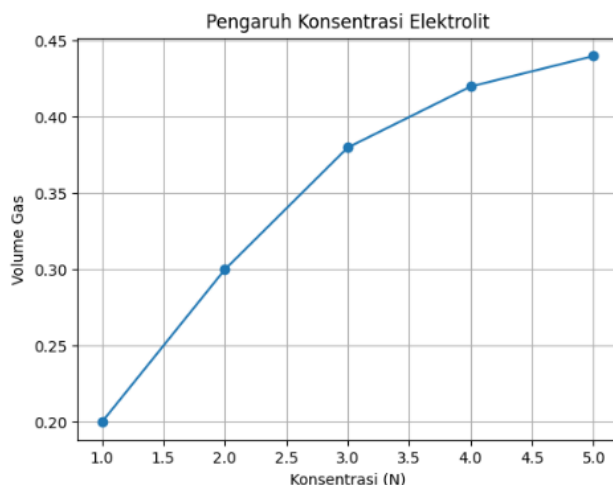
Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa elektrolit berbasis alkali, khususnya KOH, memberikan performa yang lebih tinggi dibandingkan elektrolit lainnya dalam menghasilkan volume gas pada seluruh variasi arus yang diuji. Temuan ini sejalan dengan studi sebelumnya yang menunjukkan bahwa peningkatan arus listrik secara langsung meningkatkan laju produksi gas melalui mekanisme elektrolisis (Ridwan et al., 2019).

Namun demikian, hasil ini berbeda dengan beberapa penelitian lain yang melaporkan bahwa elektrolit seperti  $\text{NaHCO}_3$  dapat menghasilkan volume gas yang lebih tinggi dibandingkan KOH dan NaOH pada kondisi tertentu (Okvasari & Ridwan, 2024). Perbedaan ini menunjukkan bahwa performa elektrolit tidak hanya ditentukan oleh jenis senyawa, tetapi juga sangat dipengaruhi oleh kondisi operasi sistem, seperti konfigurasi reaktor, jenis dan luas permukaan elektroda, serta rentang konsentrasi dan arus listrik yang digunakan.

Dalam konteks penelitian ini, penggunaan arus hingga 50 A serta konfigurasi sistem elektrolisis yang sederhana cenderung memperkuat peran konduktivitas ionik elektrolit dalam menentukan efisiensi produksi gas, sehingga elektrolit dengan mobilitas ion tinggi seperti KOH menunjukkan performa yang lebih unggul. Dengan demikian, hasil penelitian ini tidak hanya mengonfirmasi peran elektrolit dalam proses elektrolisis, tetapi juga menekankan bahwa optimasi sistem harus mempertimbangkan interaksi antara parameter operasi dan karakteristik elektrolit secara simultan.

Lebih lanjut, perbedaan performa antara KOH dan NaOH tetap terlihat pada seluruh rentang arus 10 A hingga 50 A, yang menunjukkan bahwa keunggulan KOH bersifat konsisten dan lebih terkait dengan sifat intrinsik elektrolit dibandingkan dengan perubahan arus listrik. Hal ini menegaskan bahwa variasi arus terutama mempengaruhi jumlah gas yang dihasilkan, sementara perbedaan efisiensi sistem tetap ditentukan oleh karakteristik elektrolit yang digunakan.

### Pengaruh Konsentrasi Elektrolit



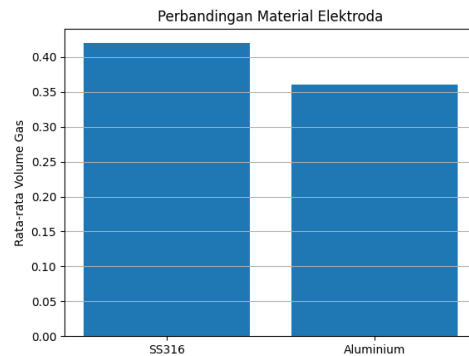
**Gambar 3.** Pengaruh Konsentrasi Elektrolit terhadap Volume Gas yang Dihasilkan.

Peningkatan konsentrasi cenderung meningkatkan volume gas, namun laju peningkatannya berkurang pada konsentrasi yang lebih tinggi. Pola ini mengindikasikan adanya keterbatasan dalam sistem, sehingga peningkatan jumlah ion tidak selalu menghasilkan peningkatan kinerja secara proporsional.

Peningkatan konsentrasi elektrolit dari 1N hingga 5N secara umum meningkatkan volume gas yang dihasilkan pada seluruh variasi arus, seperti yang diperlihatkan pada gambar 3. Hal ini menunjukkan bahwa jumlah ion pembawa muatan dalam larutan memainkan peran penting dalam meningkatkan konduktivitas dan mempercepat reaksi elektrokimia.

Peningkatan konsentrasi menyebabkan meningkatnya jumlah ion dalam larutan, sehingga menurunkan resistansi dan meningkatkan kemampuan sistem dalam menghantarkan arus listrik. Namun demikian, pada konsentrasi yang lebih tinggi, peningkatan performa cenderung tidak lagi signifikan. Hal ini mengindikasikan adanya keterbatasan transport massa, yang kemungkinan dipengaruhi oleh peningkatan viskositas larutan serta hambatan pelepasan gelembung gas pada permukaan elektroda (Paulec et al., 2025; Pereira et al., 2026; Zhang et al., 2026).

## Pengaruh Material Elektroda



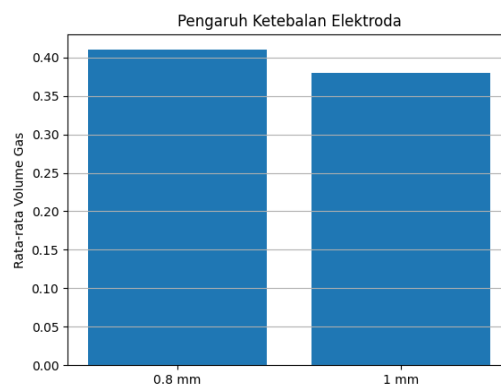
**Gambar 4.** Perbandingan Rata-Rata Volume Gas yang Dihasilkan.

Dari grafik 4 volume gas yang dihasilkan menggunakan material elektroda *stainless steel* 316 dan aluminium. *Stainless steel* 316 menunjukkan volume gas yang sedikit lebih tinggi dibandingkan aluminium, namun perbedaannya relatif kecil, sehingga menunjukkan bahwa material elektroda bukan faktor dominan dalam sistem yang diteliti.

Material elektroda menunjukkan pengaruh terhadap volume gas yang dihasilkan, namun tidak sebesar pengaruh elektrolit. *Stainless steel* 316 secara umum menghasilkan volume gas yang lebih tinggi dibandingkan aluminium pada hampir seluruh kondisi pengujian, seperti yang ditampilkan dalam gambar 4.

Perbedaan ini dapat dikaitkan dengan stabilitas elektrokimia *stainless steel* yang lebih baik dalam lingkungan elektrolit, sehingga mampu mendukung reaksi elektrolisis secara lebih efektif. Sebaliknya, aluminium cenderung mengalami reaksi samping yang dapat menurunkan efisiensi sistem. Meskipun demikian, perbedaan performa antar material relatif kecil dibandingkan variasi elektrolit, yang menunjukkan bahwa material elektroda bukan merupakan faktor dominan dalam sistem yang diteliti.

## Pengaruh Ketebalan Elektroda



**Gambar 5.** Perbandingan Volume Gas Berdasarkan Ketebalan Elektroda 0,8 Mm dan 1 Mm.

Elektroda dengan ketebalan lebih kecil menunjukkan kecenderungan menghasilkan volume gas sedikit lebih tinggi, namun perbedaannya relatif kecil, sehingga menunjukkan bahwa ketebalan elektroda tidak memberikan pengaruh signifikan dibandingkan parameter lain.

Pada gambar 5 diperlihatkan bagaimana variasi ketebalan elektroda memberikan pengaruh yang relatif kecil terhadap volume gas yang dihasilkan. Elektroda dengan ketebalan lebih kecil (0,8 mm) cenderung menghasilkan volume gas sedikit lebih tinggi dibandingkan elektroda dengan ketebalan 1 mm.

Perbedaan ini dapat dikaitkan dengan resistansi internal elektroda dan distribusi arus pada permukaan elektroda. Elektroda yang lebih tipis memungkinkan distribusi arus yang lebih merata, sehingga meningkatkan luas area aktif reaksi. Namun demikian, pengaruh ketebalan tetap lebih kecil dibandingkan pengaruh jenis dan konsentrasi elektrolit.

### **Analisis Perbandingan Pengaruh Variabel**

Pola peningkatan volume gas yang relatif konsisten pada berbagai kondisi penelitian menunjukkan bahwa sistem elektrolisis dalam penelitian ini didominasi oleh parameter yang bersifat terkontrol, terutama arus listrik dan konduktivitas elektrolit. Kondisi operasi yang dijaga konstan serta penggunaan sistem reaktor yang sederhana memungkinkan minimnya fluktuasi eksternal selama pengujian. Selain itu, fenomena keterbatasan transport massa mulai terlihat pada konsentrasi tinggi, sehingga pada sebagian besar rentang kondisi hubungan antara variabel masih menunjukkan kecenderungan yang mendekati linier.

Meskipun peningkatan konsentrasi elektrolit dalam penelitian ini menunjukkan tren peningkatan kinerja, laju peningkatan tersebut cenderung menurun pada konsentrasi yang lebih tinggi dalam rentang yang diuji. Hal ini mengindikasikan adanya keterbatasan dalam sistem, yang kemungkinan berkaitan dengan peningkatan viskositas larutan dan keterbatasan transport massa. Kondisi ini menunjukkan bahwa terdapat kecenderungan menuju titik optimum konsentrasi elektrolit, di mana penambahan konsentrasi tidak lagi menghasilkan peningkatan kinerja yang signifikan.

Secara komprehensif, sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 1, variasi jenis dan konsentrasi elektrolit menghasilkan perbedaan volume gas yang jauh lebih besar dibandingkan variasi material dan ketebalan elektroda pada seluruh variasi arus yang diuji. Hal ini menunjukkan bahwa pada penelitian ini karakteristik elektrolit merupakan faktor yang lebih berpengaruh dalam menentukan kinerja sistem elektrolisis.

Fenomena ini secara fundamental dapat dijelaskan bahwa pada sistem elektrolisis, terutama pada kondisi yang dikendalikan oleh resistansi larutan, kontribusi transport ion dalam elektrolit lebih menentukan dibandingkan kinetika reaksi pada permukaan elektroda. Dengan demikian, peningkatan konduktivitas elektrolit memberikan dampak yang lebih signifikan terhadap volume gas yang dihasilkan dibandingkan perubahan karakteristik elektroda (de Kam et al., 2024; Paulec et al., 2025; Vedrtnam et al., 2025; Zhang et al., 2026).

Implikasi praktis dari temuan ini adalah bahwa optimasi sistem elektrolisis skala kecil sebaiknya diprioritaskan pada pemilihan jenis dan konsentrasi elektrolit dibandingkan modifikasi material elektroda, sehingga dapat menekan biaya dan kompleksitas sistem tanpa mengorbankan kinerja volume gas yang dihasilkan.

Secara keseluruhan, penelitian ini menunjukkan bahwa pada sistem elektrolisis dengan variasi arus 10–50 A, kinerja sistem lebih ditentukan oleh karakteristik elektrolit dibandingkan parameter elektroda, dengan KOH menunjukkan performa paling stabil dan unggul pada seluruh kondisi pengujian.

Penelitian ini memiliki keterbatasan pada aspek pengulangan eksperimen, di mana pengukuran dilakukan satu kali untuk setiap kondisi penelitian. Meskipun tren yang diperoleh menunjukkan konsistensi yang kuat antar variabel, analisis statistik lanjutan tidak dilakukan dalam penelitian ini. Oleh karena itu, penelitian selanjutnya diperlukan untuk mengevaluasi variabilitas data serta memperkuat validasi kuantitatif terhadap hasil yang diperoleh.

#### **4. KESIMPULAN DAN SARAN**

Berdasarkan hasil penelitian, peningkatan arus listrik dari 10 A hingga 50 A secara konsisten meningkatkan volume gas yang dihasilkan pada seluruh kondisi penelitian. Namun demikian, perbedaan performa antar sistem tetap lebih dipengaruhi oleh karakteristik elektrolit dibandingkan parameter lainnya.

Elektrolit KOH menunjukkan performa terbaik dalam menghasilkan volume gas dibandingkan NaOH dan NaCl pada seluruh variasi arus yang diuji, dengan peningkatan sekitar  $\pm 10\text{--}15\%$  terhadap NaOH dan  $\pm 20\text{--}30\%$  terhadap NaCl. Peningkatan konsentrasi elektrolit dari 1N hingga 5N juga terbukti meningkatkan volume gas, meskipun pada konsentrasi tinggi peningkatan tersebut cenderung tidak signifikan akibat keterbatasan transport massa.

Di sisi lain, variasi material dan ketebalan elektroda memberikan pengaruh yang relatif lebih kecil terhadap kinerja sistem. *Stainless steel* 316 menunjukkan performa yang sedikit lebih baik dibandingkan aluminium, sementara pengaruh ketebalan elektroda tidak menjadi faktor dominan dalam sistem yang diteliti.

Secara keseluruhan, penelitian ini menunjukkan bahwa pada sistem elektrolisis air dengan variasi arus 10–50 A, kinerja sistem lebih dipengaruhi oleh karakteristik elektrolit dibandingkan elektroda. Temuan ini menegaskan bahwa pada sistem elektrolisis skala kecil, optimasi berbasis elektrolit merupakan strategi yang lebih efektif dibandingkan pendekatan berbasis elektroda, khususnya dalam konteks sistem sederhana dengan keterbatasan desain dan biaya.

Penelitian lanjutan disarankan untuk mengkaji hubungan antara konduktivitas elektrolit dan kinerja sistem secara kuantitatif guna memperkuat pemahaman mengenai mekanisme dominansi elektrolit dalam sistem elektrolisis.

## DAFTAR PUSTAKA

- Dash, S. K., Chakraborty, S., & Elangovan, D. (2023). A Brief Review of Hydrogen Production Methods and Their Challenges. In *Energies* (Vol. 16, Issue 3, p. 1141). <https://doi.org/10.3390/en16031141>
- Dawood, F., Anda, M., & Shafiullah, G. M. (2020). Hydrogen production for energy: An overview. *International Journal of Hydrogen Energy*, 45(7), 3847–3869. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2019.12.059>
- de Kam, L. B. T., Maier, T. L., & Krischer, K. (2024). Electrolyte effects on the alkaline hydrogen evolution reaction: A mean-field approach. *Electrochimica Acta*, 497, 144530. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.electacta.2024.144530>
- Fattah, I. M. R., Mofijur, M., Kusumo, F., Silitonga, A., Kalam, M., & Mahlia, T. (2025). Advancements in Electrode Development for Water Electrolysis: From Support Electrodes to Self-Supported Electrodes. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Energy and Environment*, 14. <https://doi.org/10.1002/wene.70014>
- Fayez, N. H. A., Qenawy, M., Mustafa, H. M. M., Shehadeh, M., Taha, M., & Abdelbaky Elbatran, A. H. (2026). Optimization of a wet-cell electrolyzer for efficient oxyhydrogen (HHO) gas production: a step towards sustainable green energy solutions. *Scientific Reports*, 16(1), 12374. <https://doi.org/10.1038/s41598-026-45418-z>
- Ishaq, H., & Dincer, I. (2021). Comparative assessment of renewable energy-based hydrogen production methods. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 135, 110192. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110192>

- Ishaq, H., Dincer, I., & Crawford, C. (2022). A review on hydrogen production and utilization: Challenges and opportunities. *International Journal of Hydrogen Energy*, 47(62), 26238–26264. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2021.11.149>
- Kim, J., Seo, J. H., Lee, J. K., Oh, M. H., & Jang, H. W. (2025). Challenges and strategies in catalysts design towards efficient and durable alkaline seawater electrolysis for green hydrogen production. *Energy Materials*, 5(7), 500076. <https://doi.org/10.20517/energymater.2024.220>
- Okvasari, R., & Ridwan, M. (2024). Tinjauan Efek Variasi Elektrolit dan Konsentrasinya dalam Produksi Gas HHO Melalui Metode Elektrolisis. *Innovative: Journal Of Social Science Research*, 4(2 SE-Articles), 3031–3039. <https://doi.org/10.31004/innovative.v4i2.9569>
- Paulec, T., Tvarožek, J., Resutík, P., Špánik, P., & Praženica, M. (2025). Review of the dynamic response of water electrolyzer. *Electrical Engineering*, 107(8), 10499–10506. <https://doi.org/10.1007/s00202-025-03042-6>
- Pereira, J., Souza, R., & Moita, A. (2026). A Review of the Ionic Liquids for Hydrogen Production by Electrolysis. In *Inventions* (Vol. 11, Issue 2, p. 24). <https://doi.org/10.3390/inventions11020024>
- Ridwan, M., Rangkuti, C., & Okvasari, R. (2019). *TERHADAP GAS HHO YANG DIHASILKAN PADA ALAT HYDRONIZER*. 9–10.
- Shiva Kumar, S., & Himabindu, V. (2019). Hydrogen production by PEM water electrolysis – A review. *Materials Science for Energy Technologies*, 2(3), 442–454. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.mset.2019.03.002>
- Sultana, U. K., Fernando, J. F. S., & O’Mullane, A. P. (2020). Transformation of *stainless steel* 316 into a bifunctional water splitting electrocatalyst tolerant to polarity switching. *Sustainable Materials and Technologies*, 25, e00177. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.susmat.2020.e00177>
- Vedrtnam, A., Kalauni, K., & Pahwa, R. (2025). A review of water electrolysis technologies with insights into optimization and numerical simulations. *International Journal of Hydrogen Energy*, 140, 694–727. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2025.05.295>
- Wu, L., Xu, Y., Wang, Q., Zou, X., Pan, Z., Leung, M. K. H., & An, L. (2025). Direct seawater electrolysis for green hydrogen production: electrode designs, cell configurations, and system integrations. *Energy & Environmental Science*, 18(10), 4596–4624. <https://doi.org/10.1039/D5EE01093D>
- Yue, M., Lambert, H., Pahon, E., Roche, R., Jemei, S., & Hissel, D. (2021). Hydrogen energy systems: A critical review of technologies, applications, trends and challenges. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 146, 111180. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111180>

Zhang, Q., Hao, Y., Chen, H., Li, J., Zeng, Y., Xiong, J., Cheng, Y., Ozden, A., Tricoli, A., & Li, F. (2026). Toward Energy-Efficient Alkaline Water Electrolysis: Advances in Mass Transport Optimization and Electrolyzer Design. *Advanced Energy Materials*, 16(1), e04039. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/aenm.202504039>