



Analisa Pengaruh Luasan Cell terhadap Efisiensi dan Volume Hidrogen pada Generator HHO menggunakan Larutan Air

Catur Heri Setiyawan¹, Gatot Soebiyakto²✉, Nova Risdianto Ismail³

^{1,2,3} Prodi Magister Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Widya Gama
Jl. Taman Borobudur Indah No.1, Malang, Indonesia

✉Corresponding author: soebiyakto@widyagama.ac.id

Diterima Redaksi : 16 Januari 2023

Selesai Revisi : 12 April 2023

Diterbitkan Online : 22 Mei 2023

Abstract

The availability of fossil fuels is becoming increasingly limited due to increased innovation in transportation technology resulting in an increase in the number of motor vehicles. The combustion of fossil fuels also has an impact on the environment, such as increasing global warming. This study aims to determine the volume of hydrogen and the flame profile if the plate area is varied. The test was conducted experimentally using 1.3 liters of water. P X L electrodes have sizes (12.5cm x 2.5cm), (11.5cm x 2cm), (10.5cm x 1.5cm), and (10cm x 1 cm). Tests include HHO generator efficiency tests. The test results show that the largest gas production rate occurs in the area of P X L (12.5cm x 2.5cm), producing a volume of 60 ml with a time of 30 seconds and a production rate of 0.002 l/s. The best HHO generator efficiency is obtained at an area of P X L (12.5cm x 2.5cm) of 32.53%.

Keywords: energy; hydrogen; HHO, elektrolysis, cell area.

Abstrak

Ketersediaan bahan bakar fosil saat ini semakin terbatas karena peningkatan inovasi teknologi transportasi yang menghasilkan peningkatan jumlah kendaraan bermotor. Hasil pembakaran bahan bakar fosil juga berdampak pada lingkungan, seperti meningkatkan pemanasan global. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui volume hidrogen dan profil nyala api jika luasan plat divariasikan. Pengujian dilakukan secara eksperimental menggunakan 1,3 liter air. Elektroda P X L memiliki ukuran (12,5cm x 2,5cm), (11,5cm x 2cm), (10,5cm x 1,5cm), dan (10cm x 1 cm). Pengujian meliputi uji efisiensi generator HHO. Hasil pengujian menunjukkan bahwa laju produksi gas terbesar terjadi pada luasan P X L (12,5cm x 2,5cm), menghasilkan volume sebesar 60 ml dengan waktu 30 detik dan laju produksi 0,002 l/s. Efisiensi generator HHO terbaik didapatkan pada luasan P X L (12,5cm x 2,5cm) sebesar 32,53%.

Kata kunci: energi; perancangan; manufaktur; pengolahan material; teknik mesin.

1. Pendahuluan

Ketersediaan bahan fosil saat ini semakin terbatas karena inovasi teknologi transportasi yang pesat [1]. Jumlah kendaraan bermotor terus meningkat dari waktu ke waktu, dan hasil pembakaran bahan bakar fosil juga berdampak pada pencemaran lingkungan, seperti meningkatkan efek buruk pada pemanasan global dan karbondioksida yang keluar dari hasil pembakaran bahan bakar fosil tersebut juga akan menjadi pencemaran lingkungan [2]. Untuk mengatasi hal ini, diperlukan terobosan atau inovasi baru yang lebih ramah lingkungan dan tidak berdampak buruk bagi lingkungan [3]. Bahan bakar hidrogen adalah salah satu alternatif yang sedang banyak diteliti dan ramah lingkungan [4]. Bahan bakar ini dihasilkan melalui elektrolisis air (H₂O) yang dicampur dengan katalis menjadi gas HHO/Gas Brown dengan

menggunakan arus listrik [5]. Banyak penelitian telah dilakukan mengenai berbagai aspek dari HHO, termasuk penelitian tentang larutan atau elektrolit, dimensi plat atau sel, dan jenis plat yang digunakan dalam HHO [6]. Namun, masih sedikit penelitian yang dilakukan pada desain khususnya pada luasan antara plat atau sel pada HHO. Oleh karena itu, sangat penting untuk melakukan pengembangan lebih lanjut mengenai penelitian ketebalan plat atau sel pada generator HHO. Tujuan utama dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh luasan sel pada generator HHO terhadap volume hidrogen dan profil nyala api menggunakan larutan air garam.

Taufik meneliti hasil produksi gas HHO oleh generator HHO tipe dry cell menggunakan variasi panjang elektroda yaitu dengan panjang elektroda 5 cm, 10 cm, dan 15 cm dengan katalis NaHCO_3 (Natrium Bikarbonat) pada larutan elektrolitnya [7]. Dan mendapatkan hasil Dengan bertambahnya panjang elektroda produksi gas HHO semakin naik. Tetapi dengan semakin panjangnya elektroda yang terlarut bersama Aquades dan juga NaHCO_3 dalam air menyebabkan larutan elektrolit menjadi jenuh atau tidak normal.

Mutakkim [8] meneliti tentang generator HHO tipe dry cell dengan elektroda yang berupa plat stainless steel 304 dan menggunakan katalis NaCl (Natrium Klorida) dengan variasi prosentase 4; 5; dan 6 % yang masing – masing dilarutkan pada aquades sebanyak 500 ml. Karakteristik yang diketahui meliputi konsumsi daya yang digunakan oleh generator, laju produksi brown's gas, dan efisiensi generator HHO dan mendapatkan hasil pengujian generator terbaik dengan prosentase katalis 6 % diperoleh data hasil pengujian dengan daya yang digunakan sebesar 66 Watt, laju produksi brown's gas yang dihasilkan sebanyak 0,0034 l/s dan efisiensi generator HHO sebesar 33,59 %.

Pradigdo [9] membandingkan lapisan plat-plat fuel cell dari variasi jaraknya dan kuat arus listriknya pada proses elektrolisis menggunakan logam SS316 dan aluminium. Setelah diukur didapat kesimpulan bahwa pemakaian logam SS316 untuk lapisan plat fuel cell jauh lebih baik dari aluminium karena menghasilkan restansi lebih rendah dan konstan laju produksi HHO pada proses elektrolisis air dipengaruhi oleh lapisan plat sejajar pada fuel cellnya, nilai resistansi air yang digunakan pada pengukuran ini sebesar $\rho = 4170 \text{ ohm}$.

Soebiyakto [10] menyatakan bahwa campuran bahan bakar dan oksigen yang disemprotkan melalui nozzle secara terpisah melalui pipa dan banyak digunakan oleh industri pada proses pembakaran, ketidakstabilan api dapat menurunkan efisiensi atau justru memadamkan ketika api mulai menyala. Stabilitas difusi api yang terangkat sangat tergantung pada pencampuran gas dari api. Nyala api premix adalah istilah dimana bahan bakar dan udara bercampur sebelum terjadinya proses pembakaran. Pengaruh induksi medan magnet pada pembakaran secara luas telah diteliti, khususnya tentang difusi api dengan bahan bakar gas

2. Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode eksperimental. yaitu dengan menggunakan variasi luasan plat P x L (12,5x2,5 cm),(11,5 x 2cm),(10,5x 1,5cm), (10 x 1cm) sebagai unsur yang dapat mempercepat elektrolisis air (H_2O) untuk menghasilkan gas HHO atau Brown's Gas serta menentukan volume hidrogen dan profil nyala api dengan larutan air garam.

Variabel-variabel penelitian adalah sebagai berikut:

Variable bebas:

1. Bahan elektroda stainless steel dengan ketebalan plat yaitu 0,75 mm
2. Larutan air garam
3. Tegangan arus DC
4. Luasan P X L (12,5cm x 2,5cm) (11,5cmx 2cm) (10,5cm x 1,5cm) (10cm x 1 cm)

Variabel terikat:

1. Volume hydrogen
2. Efisiensi generator HHO

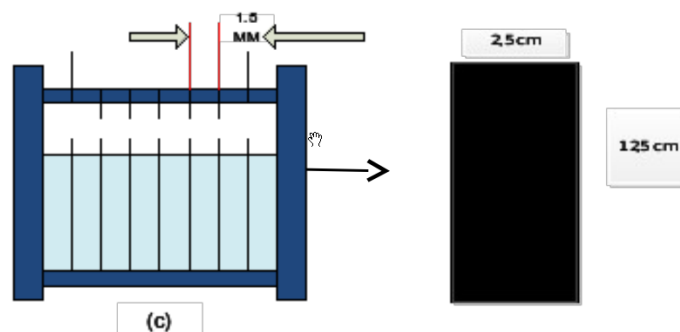
Adapun alat pendukung pada penelitian adalah sebagai berikut:

Tabel 1. Alat Penelitian

No	Nama Alat	Jumlah
1	Kikir	1
2	Gunting	1
3	Tang	1
4	Obeng	1
5	Bor duduk	1
6	Gerinda duduk	1
7	Kunci ring 8-9	2
8	Kunci ring 10-11	2

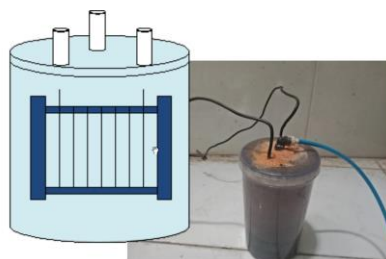
Bahan penelitian adalah sebagai berikut:

1. Elektroda



Gambar 1. Elektroda

2. Tabung elektrolizer



Gambar 2. Tabung elektrolizer

3. Power supply
4. Kabel
5. Katalis
6. Air

Prosedur penelitian adalah sebagai berikut:

Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji proses elektrolisis air dalam menghasilkan gas HHO dengan variasi parameter eksperimental. Proses dimulai dari tahap perencanaan alat, di mana dilakukan desain sistem elektrolisis yang meliputi pemilihan jenis elektroda, wadah reaksi, sumber daya listrik, serta alat ukur yang diperlukan untuk mendukung akurasi pengambilan data.

Setelah tahap desain selesai, masuk ke tahap persiapan alat. Alat-alat utama yang digunakan dalam penelitian ini antara lain: reaktor elektrolisis berbahan akrilik transparan yang tahan terhadap suhu dan reaksi kimia; elektroda berupa plat stainless steel 304 sebanyak delapan buah yang berfungsi sebagai anoda dan katoda; power supply DC 12 Volt untuk memberikan tegangan listrik konstan selama proses berlangsung; kabel penghubung serta klem terminal untuk menyambungkan rangkaian listrik; multimeter digital untuk memantau tegangan dan arus listrik; timbangan digital untuk menimbang massa natrium klorida (NaCl); serta gelas ukur atau eudiometer sebagai alat untuk menampung dan mengukur volume gas HHO yang dihasilkan.

Tahap berikutnya adalah pengecekan alat, memastikan bahwa seluruh komponen berfungsi dengan baik, tidak terdapat kebocoran pada reaktor, dan koneksi listrik tersambung dengan benar.

Selanjutnya masuk ke tahap konfigurasi variabel eksperimen. Air sebanyak 1300 mL dimasukkan ke dalam reaktor sebagai medium elektrolisis. Tegangan listrik dari power supply diatur sebesar 12 Volt. Elektroda dipasang sebanyak 8 buah, disusun secara paralel dalam reaktor. Sebagai elektrolit, ditambahkan 10 gram garam dapur (NaCl) ke dalam air untuk meningkatkan konduktivitas larutan. Selain itu, dilakukan variasi luas permukaan elektroda dengan ukuran 12,5×2 cm, 15×2 cm, 10,5×1 cm, dan 10×1 cm untuk mengetahui pengaruh luas elektroda terhadap efisiensi produksi gas HHO.

Setelah konfigurasi lengkap, dilakukan uji coba sains. Jika parameter tidak sesuai atau terjadi kegagalan alat, maka eksperimen tidak dilanjutkan. Namun jika uji coba berhasil, maka dilakukan pengambilan data, yang mencakup pencatatan waktu elektrolisis, volume gas yang dihasilkan, serta pengukuran tegangan dan arus selama proses berlangsung.

Data yang terkumpul kemudian dianalisis dalam tahap analisis data untuk mengetahui hubungan antara parameter yang diuji—seperti luas elektroda dan jumlah garam—dengan efisiensi produksi gas HHO. Melalui analisis ini dapat diketahui konfigurasi optimal yang memberikan hasil terbaik.

3. Hasil dan Pembahasan

Dalam proses produksi gas HHO melalui metode elektrolisis, arus listrik dan tegangan yang dialirkan pada rangkaian generator HHO memiliki peran yang sangat penting. Kedua parameter ini secara langsung mempengaruhi laju reaksi elektrolisis serta jumlah gas yang dihasilkan. Arus listrik dan tegangan tidak hanya berfungsi sebagai pemicu reaksi kimia, tetapi juga merupakan representasi dari energi listrik yang dikonsumsi selama proses berlangsung.

Energi ini dihitung menggunakan persamaan daya listrik (P), yaitu hasil perkalian antara tegangan (V) dan kuat arus (I). Secara matematis dirumuskan sebagai:

$$P = V \times I \quad 1)$$

Sebagai contoh, apabila sistem bekerja dengan tegangan sebesar 12 volt dan arus listrik sebesar 10 ampere, maka daya listrik yang digunakan oleh generator adalah:
 $P = 12 \times 10 = 120 \text{ watt}.$

Nilai ini menunjukkan besarnya energi yang dibutuhkan untuk menjalankan proses elektrolisis, dan secara tidak langsung dapat digunakan sebagai indikator efisiensi sistem. Semakin tinggi daya yang dibutuhkan untuk menghasilkan volume gas tertentu, maka efisiensi sistem elektrolisis menjadi salah satu aspek yang perlu diperhatikan dalam pengembangan teknologi HHO.

Energi yang dibutuhkan

Untuk memproduksi gas HHO melalui proses elektrolisis, diperlukan sejumlah energi listrik yang dapat dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$E = P \times t \quad 2)$$

di mana E adalah energi total yang dibutuhkan dalam satuan joule, P adalah daya listrik yang digunakan oleh generator dalam watt, dan t adalah waktu operasi dalam satuan sekon.

Sebagai contoh, jika sistem bekerja dengan daya sebesar 120 watt selama 10 sekon, maka energi total yang dibutuhkan adalah:

$$E = 120 \times 10 = 1200 \text{ joule} \quad 3)$$

Setelah proses elektrolisis berlangsung, gas HHO yang dihasilkan dapat diukur dari laju produksinya, yakni jumlah volume gas per satuan waktu. Laju ini dihitung menggunakan rumus:

$$Q = V / t \quad 4)$$

di mana Q adalah laju produksi gas HHO (liter per detik), V adalah volume gas (liter), dan t adalah waktu (sekon).

Dalam penelitian ini, diperoleh volume sebesar 0,052 liter selama 30 detik, sehingga laju produksi gas HHO adalah $Q = 0,052 / 30 = 0,00173$ liter/detik atau dibulatkan menjadi 0,002 liter/detik.

Gas HHO memiliki massa jenis sebesar 0,491167 gram/liter. Selain itu, berdasarkan literatur (Yunus K.R., 2018), diketahui bahwa gas hidrogen memiliki nilai kalor rendah (Lower Heating Value/LHV) sebesar 119,93 kJ/gram. Namun, karena kandungan hidrogen dalam gas HHO (Brown's Gas) hanya sekitar 1/9 dari total massa gas, maka LHV efektif dari gas HHO menjadi sebesar 13,25 kJ/gram.

Selanjutnya, untuk menilai performa sistem, dihitung efisiensi dari generator HHO. Efisiensi ini merupakan perbandingan antara energi kimia yang terkandung dalam gas HHO hasil elektrolisis terhadap energi listrik yang digunakan untuk memproduksinya. Persamaan efisiensi dirumuskan sebagai:

$$\eta = (Q \times \rho \times \text{LHV} \times t) / E \times 100\% \quad 5)$$

di mana:

- Q = laju produksi gas (liter/detik),
- ρ = massa jenis HHO (gram/liter),
- LHV = nilai kalor rendah (kJ/gram),
- t = waktu elektrolisis (sekon),
- E = energi listrik total (joule).

Dengan memasukkan nilai-nilai yang diperoleh dari eksperimen:

$$\eta = (0,0019 \times 0,491167 \times 13.250 \times 10) / 1200 \times 100\% = 20,60\%$$

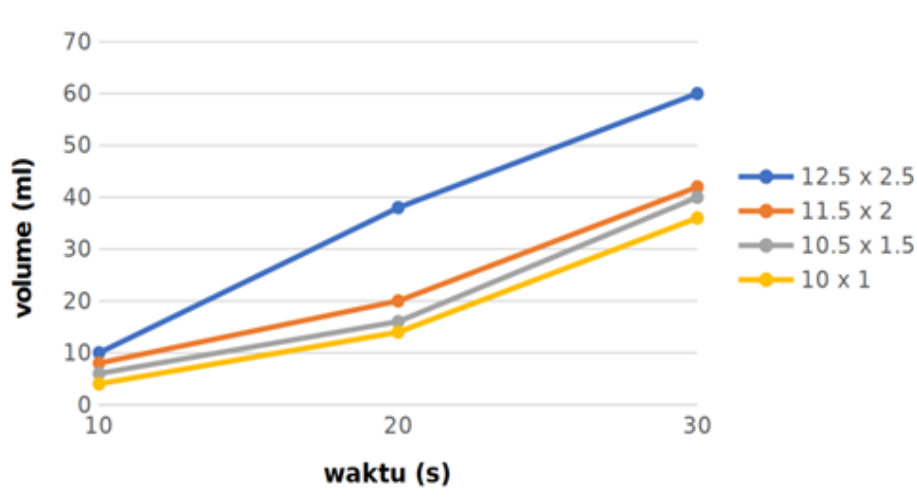
Hasil ini menunjukkan bahwa efisiensi konversi energi listrik menjadi energi kimia dalam bentuk gas HHO adalah sekitar **20,60%**, yang merupakan angka umum untuk sel elektrolisis tipe wet cell tanpa sistem efisiensi termal tambahan. Efisiensi ini dapat ditingkatkan melalui optimasi desain sel, penggunaan katalis, atau manajemen panas yang lebih baik.

Tabel 2. Data Perhitungan

No	Luasan Pelat	Waktu (detik)	Volume Hidrogen (ml)	Laju Produksi HHO (l/s)	Efisiensi HHO (%)
1	12,5x2,5	10	10	0.001	5,42
		20	38	0.0019	20,6
		30	60	0.002	32,53
2	11,5x2	10	8	0.0008	4,33
		20	20	0.001	10,84
		30	42	0.0014	22,77
3	10,5x1,5	10	6	0.0006	3,25
		20	16	0.0008	8,67
		30	40	0.0013	21,15
4	10x1	10	4	0.0004	4,33
		20	14	0.0007	7,59
		30	36	0.0012	19,52

Analisa Grafik Hubungan Antara Waktu Dan Volume Hydrogen

Dari tabel 2 dapat dibuat hubungan antara waktu dan volume hydrogen sebagai berikut:



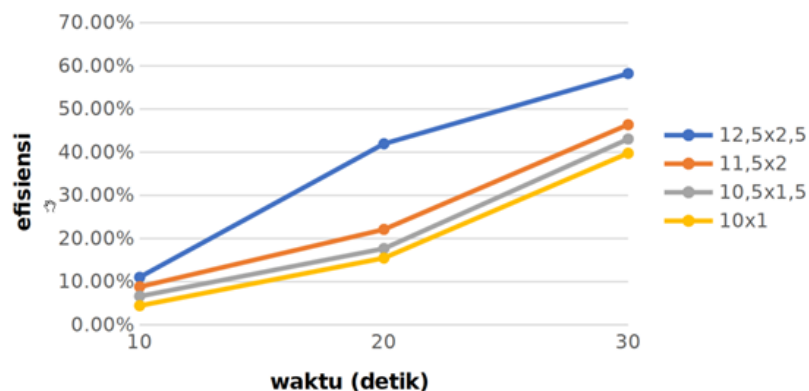
Gambar 3. Grafik Hubungan Antara Waktu Dan Volume Hydrogen

Grafik yang ditampilkan menunjukkan hubungan antara waktu elektrolisis (detik) dengan volume gas hidrogen (mL) yang dihasilkan menggunakan elektroda dengan variasi luas permukaan. Keempat ukuran elektroda yang digunakan dalam penelitian ini yaitu: 12,5 × 2,5 cm, 11,5 × 2 cm, 10,5 × 1,5 cm, dan 10 × 1 cm. Masing-masing ukuran merepresentasikan perbedaan luas permukaan, dengan 12,5 × 2,5 cm sebagai elektroda dengan luas terbesar, sedangkan 10 × 1 cm sebagai yang terkecil.

Dari grafik, dapat diamati bahwa volume gas hidrogen yang dihasilkan cenderung meningkat secara proporsional terhadap waktu. Semakin lama waktu reaksi elektrolisis berlangsung, maka semakin besar pula volume gas yang terbentuk. Ini menunjukkan bahwa reaksi elektrolisis air berlangsung secara kontinu dan menghasilkan gas secara bertahap sesuai durasi penyalaan.

Yang paling menonjol dalam hasil percobaan adalah elektroda berukuran $12,5 \times 2,5$ cm. Elektroda ini menghasilkan volume gas hidrogen tertinggi pada setiap titik pengamatan waktu. Hal ini membuktikan bahwa semakin besar luas permukaan elektroda, semakin besar pula jumlah reaksi redoks yang dapat terjadi secara bersamaan di permukaan elektroda. Dengan kata lain, semakin luas permukaan, semakin besar daya tampung transfer elektron yang memungkinkan lebih banyak molekul air dipecah menjadi gas hidrogen dan oksigen. Sebaliknya, elektroda dengan ukuran 10×1 cm, yang memiliki luas permukaan terkecil, menghasilkan volume gas paling sedikit. Ini menunjukkan keterbatasan dalam reaktivitas karena area kontak antara elektroda dan larutan elektrolit lebih kecil, sehingga hanya sedikit molekul air yang dapat mengalami dekomposisi pada waktu yang sama. Elektroda berukuran $11,5 \times 2$ cm dan $10,5 \times 1,5$ cm menunjukkan performa yang berada di antara dua ekstrem tersebut. Meskipun hasilnya tidak setinggi elektroda terbesar, keduanya tetap menunjukkan peningkatan volume gas yang stabil seiring waktu, menandakan bahwa luas permukaan yang sedang tetap mampu meningkatkan efisiensi produksi dibandingkan elektroda terkecil. Secara keseluruhan, data yang disajikan dalam grafik ini mengonfirmasi bahwa luas permukaan elektroda merupakan faktor yang sangat menentukan dalam efisiensi proses elektrolisis air untuk menghasilkan gas HHO. Semakin besar luas elektroda, semakin luas area reaksi yang memungkinkan pembentukan gas dalam jumlah lebih besar dalam waktu yang sama. Temuan ini penting dalam upaya pengembangan sistem generator HHO yang lebih efisien dan produktif.

Analisa Grafik Hubungan Efisiensi Generator HHO Terhadap Waktu



Gambar 4. Grafik Hubungan Efisiensi Generator HHO Terhadap Waktu

Grafik tersebut menunjukkan hubungan antara waktu elektrolisis (detik) dengan efisiensi proses elektrolisis (%) pada empat variasi ukuran elektroda, yaitu $12,5 \times 2,5$ cm, $11,5 \times 2$ cm, $10,5 \times 1,5$ cm, dan 10×1 cm. Efisiensi dihitung sebagai perbandingan antara energi yang terkandung dalam gas HHO hasil elektrolisis dengan energi listrik yang digunakan selama proses, dinyatakan dalam satuan persen (%).

Secara umum, grafik menunjukkan tren peningkatan efisiensi seiring bertambahnya waktu untuk keempat ukuran elektroda. Hal ini wajar, karena semakin lama waktu reaksi, semakin banyak gas HHO yang dihasilkan, sementara input daya listrik tetap konstan, sehingga rasio antara output energi dan input energi menjadi lebih tinggi.

Yang paling mencolok adalah performa elektroda dengan ukuran $12,5 \times 2,5$ cm, yang secara konsisten menunjukkan efisiensi tertinggi pada setiap titik waktu. Pada detik ke-30,

efisiensinya bahkan mencapai hampir 60%, jauh lebih tinggi dibandingkan elektroda lainnya. Hal ini menunjukkan bahwa luas permukaan elektroda yang besar mampu meningkatkan efisiensi konversi energi, karena memungkinkan lebih banyak reaksi elektrokimia terjadi secara simultan.

Sebaliknya, elektroda dengan ukuran 10×1 cm menunjukkan efisiensi paling rendah sepanjang waktu pengamatan. Ini dapat dijelaskan oleh luas permukaan elektroda yang terbatas, sehingga proses pemisahan air menjadi gas HHO berlangsung dengan laju yang lebih rendah, meskipun energi listrik yang digunakan sama besar.

Elektroda $11,5 \times 2$ cm dan $10,5 \times 1,5$ cm menunjukkan peningkatan efisiensi yang stabil, berada di antara dua ekstrem tersebut. Meskipun tidak seefisien elektroda terbesar, keduanya masih menunjukkan performa yang baik dan relevan untuk aplikasi skala kecil atau menengah.

Penting untuk dicatat bahwa efisiensi sistem elektrolisis tidak hanya dipengaruhi oleh waktu dan luas permukaan elektroda, tetapi juga oleh faktor-faktor lain seperti jarak antar elektroda, konsentrasi elektrolit, dan suhu larutan. Namun, berdasarkan grafik ini dapat disimpulkan bahwa luas permukaan elektroda berperan signifikan dalam menentukan efisiensi konversi energi listrik menjadi energi kimia dalam bentuk gas HHO. Dengan demikian, penggunaan elektroda yang lebih besar sangat disarankan untuk meningkatkan efisiensi sistem, terutama dalam aplikasi energi alternatif yang mengandalkan gas HHO sebagai bahan bakar bersih.

4. Kesimpulan

Semakin besar luasan plat, semakin besar pula volume hidrogen yang dihasilkan. Hal ini terlihat jelas pada elektroda dengan ukuran permukaan terbesar, yaitu $12,5 \text{ cm} \times 2,5 \text{ cm}$, yang mampu menghasilkan volume gas hidrogen sebesar 60 mL dalam waktu 30 detik. Selain itu, efisiensi tertinggi juga dicapai pada plat ini, yakni sebesar 32,53%, karena luas permukaannya memungkinkan terjadinya reaksi elektrolisis yang lebih banyak secara simultan.

Dengan meningkatnya luas permukaan elektroda, area kontak antara elektroda dan larutan elektrolit juga meningkat, sehingga memperbesar kemungkinan terjadinya reaksi redoks pada permukaan elektroda. Akibatnya, laju produksi gas hidrogen meningkat secara signifikan dibandingkan dengan elektroda yang memiliki luas permukaan lebih kecil. Hal ini membuktikan bahwa luasan plat merupakan salah satu parameter paling krusial dalam meningkatkan efisiensi dan produktivitas sistem elektrolisis HHO.

Daftar Pustaka

- [1] M. B. Pabendon, S. B. Santoso, and N. Argosubekti, "Prospek sorgum manis sebagai bahan baku bioetanol," *Inov. Teknol. dan Pengemb.*, p. 137, 2016.
- [2] M. Aziz, Y. Marcellino, I. A. Rizki, S. A. Ikhwanuddin, and J. W. Simatupang, "Studi analisis perkembangan teknologi dan dukungan pemerintah Indonesia terkait mobil listrik," 2020.
- [3] F. Damayanti and T. Supriyatin, "Pemanfaatan limbah minyak jelantah sebagai upaya peningkatan kepedulian masyarakat terhadap lingkungan," *Din. J. Pengabd. Kpd. Masy.*, vol. 5, no. 1, 2021.
- [4] R. Fernanda, M. Dharma, N. Faiq, and I. Rafi, "Kajian Penerapan Sistem Fuel Cell Sebagai Sumber Energi Alternatif Ramah Lingkungan Pada Kendaraan Bermotor," *J. Pendidik. Tek. Mesin Undiksha*, vol. 10, no. 2, pp. 104–116, 2022.
- [5] B. Subramanian and S. Ismail, "Production and use of HHO gas in IC engines," *Int. J. Hydrogen Energy*, vol. 43, no. 14, pp. 7140–7154, 2018.

- [6] B. Subramanian and V. Thangavel, "Analysis of onsite HHO gas generation system," *Int. J. Hydrogen Energy*, vol. 45, no. 28, pp. 14218–14231, 2020.
- [7] M. T. Taufik, M. Margianto, and E. Marlina, "Pengaruh Variasi Prosentase Katalis NaHCO_3 Terhadap Produksi Brown's Gas pada Proses Elektrolisis Air Dengan Menggunakan Alat Tipe Dry Cell," *J. Tek. Mesin*, vol. 8, no. 01, 2017.
- [8] H. Mutakkim, A. Wahab, and E. Marlina, "Penggunaan generator HHO tipe dry cell untuk memproduksi brown's gas dengan katalis NaCl ," *J. Tek. Mesin*, vol. 8, no. 01, 2017.
- [9] D. Pradigdo, S. Soeparman, and A. S. Widodo, "Pengaruh Dimensi terhadap Volume Gas HHO dan Daya Listrik pada Proses Elektrolisis," *Rekayasa Mesin*, vol. 9, no. 2, pp. 93–98, 2018.
- [10] G. Soebiyakto, I. N. G. Wardana, N. Hamidi, and L. Yuliati, "Addition of bio-additive as a catalyst of burning vegetable oil influenced by 4 pole magnetic field," *Eastern-European J. Enterp. Technol.*, vol. 2, no. 6, p. 104, 2020.