

PENGARUH KONFIGURASI PELAT ELEKTRODA PADA GENERATOR HHO TIPE *DRY CELL* TERHADAP PRODUKTIVITAS *BROWN'S GAS*

Ryan Rizaldi¹, Rahadi Agung Raharjo¹, Tria Puspa Sari^{1,2a}

¹Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik dan Sains, Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Jawa Timur

²Department of Mechanical Engineering, National Cheng Kung University, Tainan, Taiwan

Korespondensi:

^aProgram Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik dan Sains, Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Jawa Timur
tria.puspa.tm@upnjatim.ac.id

ABSTRAK

Kebutuhan energi di Indonesia terus meningkat sejalan dengan pertumbuhan ekonomi dan populasi penduduk. Namun, pertumbuhan ini belum diimbangi oleh peningkatan pasokan energi, terutama dalam hal energi terbarukan. Salah satu solusi untuk mengatasi krisis pengolahan energi adalah dengan menggunakan sumber energi baru terbarukan (EBT) melalui proses elektrolisis air yang menghasilkan *Brown's Gas*. *Brown's Gas* dianggap sebagai bahan bakar yang bersih karena tidak menghasilkan emisi gas rumah kaca atau polutan udara. Generator HHO berperan sebagai alat untuk melakukan proses elektrolisis air dengan menghasilkan gas tersebut. Konfigurasi pelat elektroda dalam generator HHO tipe *dry cell* merupakan salah satu aspek penting dalam mencapai efisiensi dan kinerja optimal dari sistem ini. Pada penelitian ini menggunakan generator HHO tipe *dry cell* dengan memvariasikan konfigurasi pelat elektrodra. Hasil penelitian ini mempengaruhi setiap variasi konfigurasi pelat elektroda terhadap produktivitas *Brown's Gas*. Rata-rata hasil tertinggi didapat pada konfigurasi pelat elektroda 4K4A18N mencapai 0,00329 L/s dengan daya 43,04 Watt. Sedangkan rata-rata hasil terendah didapat pada konfigurasi pelat elektroda 3K3A20N mencapai 0,00278 L/s dengan daya 44,30 Watt. Efisiensi yang diperoleh melalui perbandingan antara laju produksi dengan daya yang digunakan energi. Hasil efisiensi tertinggi pada konfigurasi pelat elektroda 4K4A18N mencapai 49,69%.

Kata kunci: elektrolisis air, generator HHO, konfigurasi pelat elektroda

ABSTRACT

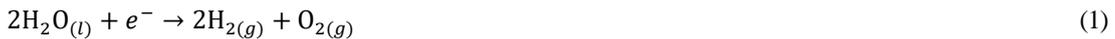
Indonesia's energy demand is increasing due to economic growth and population growth, but this growth is not being matched by an increase in energy supply, especially renewable energy. One solution to overcome the energy crisis is using new renewable energy sources (EBT) through water electrolysis. Water electrolysis is a technique that produces *Brown's Gas* by splitting water into hydrogen and oxygen using an electric current. This gas can be used as an environmentally friendly alternative fuel, as it does not produce greenhouse gas emissions or air pollutants. The HHO generator acts as a tool to carry out the water electrolysis process by producing this gas. The electrode plate configuration in a *dry cell* type HHO generator is one important aspect in achieving optimal efficiency and performance of this system. The highest average results were obtained in the 4K4A18N electrode plate configuration with 43.04 Watts of power, while the lowest average yield was obtained in the 3K3A20N electrode plate configuration with 0.00278 L/s with 44.30 Watts. The highest efficiency results in the 4K4A18N electrode plate configuration reached 49.69%.

Keywords: water electrolysis, HHO generator, electrode plate configuration

1. PENDAHULUAN

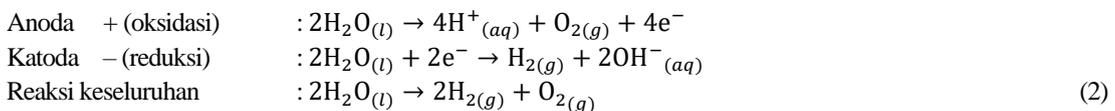
Kebutuhan energi di Indonesia terus bertambah sejalan dengan pertumbuhan ekonomi dan populasi yang meningkat. Namun, pertumbuhan ini belum diimbangi oleh peningkatan pasokan energi, terutama dalam hal energi terbarukan. Meskipun Indonesia memiliki potensi energi terbarukan yang besar, akan tetapi masih banyak yang mengandalkan sumber energi tidak terbarukan. Pada tahun 2019, penggunaan bahan bakar fosil mengalami peningkatan signifikan sebesar 43%, sementara energi terbarukan mengalami penurunan hingga 10,4% pada kuartal ketiga tahun 2022. Hal ini membuat pencapaian target 23% energi terbarukan pada tahun 2025 tampak tidak mungkin. Kenaikan permintaan energi dengan skala besar berpotensi menyebabkan krisis pengelolaan energi, sehingga diperlukan pengembangan sumber energi alternatif untuk mencegah dan mengatasi potensi krisis energi yang dapat berdampak negatif bagi Indonesia [1].

Salah satu solusi untuk mengatasi krisis pengelolaan energi adalah dengan menggunakan sumber energi baru terbarukan (EBT) melalui proses elektrolisis air. Elektrolisis air merupakan teknik untuk memecah air (H_2O) menjadi gas hidrogen (H_2) dan gas oksigen (O_2) menggunakan arus listrik. Campuran antara gas H_2 dan O_2 disebut dengan *Brown's Gas* (Brown's gas) yang dimana dianggap sebagai *clean energy* karena tidak menghasilkan emisi gas rumah kaca atau polutan udara [2]. Dengan demikian, air memiliki potensi besar sebagai sumber energi alternatif di masa depan. Hidrogen menjadi komponen kunci dalam sumber energi alternatif ini. Selain itu, air mudah didapatkan karena merupakan sumber kehidupan yang melimpah di bumi [3]. Persamaan kimia untuk proses elektrolisis air dapat ditulis sebagai berikut:



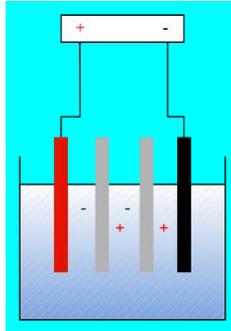
Generator HHO merupakan alat yang digunakan untuk melakukan proses elektrolisis air, menghasilkan gas *Brown's Gas*. Umumnya generator HHO memiliki dua jenis yakni tipe *dry cell* dan tipe *wet cell*. Tipe *dry cell* memiliki beberapa keunggulan dibandingkan tipe *wet cell*, seperti tingkat panas dan konsumsi daya yang lebih rendah. Pada tipe *dry cell*, hanya sebagian dari pelat elektroda yang terendam dalam larutan elektrolit, yaitu pada celah antar pelat elektroda. Proses elektrolisis untuk menghasilkan Brown's gas terjadi pada area permukaan pelat elektroda yang terendam air, sedangkan area lainnya dalam kondisi kering. Keunggulan lain dari tipe *dry cell* ini termasuk desain yang lebih ekonomis dan mudah, waktu produksi yang lebih cepat, dan penggunaan air yang lebih sedikit karena fokus pada area celah pelat [4].

Proses elektrolisis dalam generator HHO melibatkan dua pelat elektroda, yaitu anoda (positif) dan katoda (negatif), yang dialiri arus listrik searah (DC). Aliran listrik ini melewati kedua pelat elektroda dan memicu reaksi kimia dalam larutan elektrolit. Di anoda, ion negatif diserap dan elektron dilepaskan, menghasilkan molekul ion oksigen. Sementara di katoda, ion positif menyerap elektron dan membentuk molekul ion hidrogen [2]. Persamaan untuk reaksi ini dapat ditulis sebagai berikut [5]:



Pelat elektroda merupakan komponen penting dalam proses elektrolisis air. Pemilihan bahan pelat elektroda perlu dilakukan dengan cermat karena harus memiliki sifat konduktivitas listrik yang baik dan ketahanan terhadap korosi yang tinggi. *Stainless steel* adalah paduan logam yang memiliki ketahanan terhadap korosi yang sangat baik jika dibandingkan dengan logam-logam paduan ataupun logam murni lainnya. Kemampuan *stainless steel* dalam menghantarkan listrik dengan baik adalah faktor penting dalam proses elektrolisis air. *Stainless steel* terdiri dari beberapa tipe dengan persentase dan kandungan unsur paduan yang berbeda-beda. Setiap tipe memiliki karakteristik yang berbeda, termasuk konduktivitas listrik dan ketahanannya terhadap korosi. *Stainless steel 316L* dipilih sebagai bahan pelat elektroda karena memiliki ketahanan korosi yang lebih baik dibandingkan tipe *stainless steel* lainnya. Hal ini menjadikan *stainless steel 316L* pilihan yang tepat untuk digunakan sebagai pelat elektroda dalam proses elektrolisis air untuk menghasilkan Brown's gas [6].

Pada generator HHO, variasi dari konfigurasi pelat elektroda tergantung berdasarkan dengan rancangan dan spesifikasi generatornya. Konfigurasi ini merujuk pada penataan, pengaturan, dan penempatan komponen-komponen sistem untuk mencapai tujuan tertentu. Dalam penelitian ini, efektivitas proses elektrolisis air pada generator HHO tipe *dry cell* dipengaruhi oleh susunan pelat elektroda. Berbagai faktor yang menentukannya meliputi jenis material elektroda, jarak antar pelat, jumlah pelat elektroda dan pelat netral, serta desain sel secara keseluruhan.



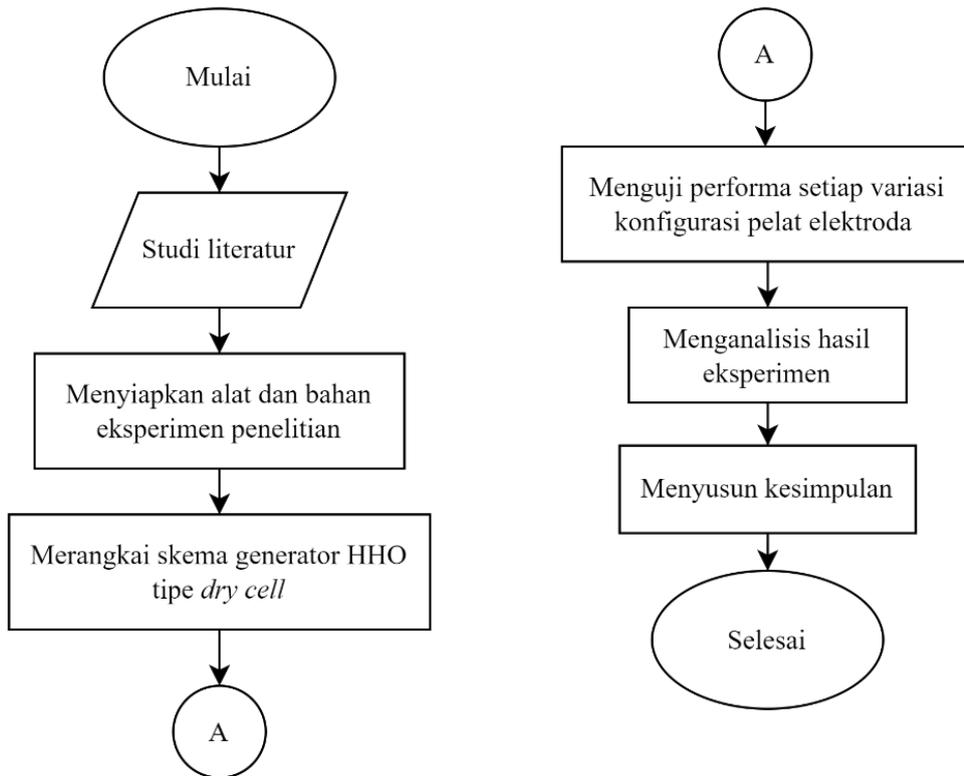
Gambar 1. Konfigurasi Pelat Elektroda Bipolar Seri

Konfigurasi pelat elektroda dalam penelitian ini menggunakan model bipolar seri seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1. Model ini terdiri dari dua bagian pelat elektroda yang terhubung daya listrik (anoda dan katoda) dan pelat netral yang ditempatkan di antara keduanya [7]. Penambahan pelat netral akan memperluas area larutan elektrolit. Hal ini dapat menurunkan tegangan yang terukur pada satu sel elektrolisis. Penurunan tegangan ini disebabkan oleh peningkatan resistansi atau hambatan listrik pada pelat elektroda akibat penambahan pelat netral, sehingga tegangan listrik pada pelat elektroda pun menurun [8].

Generator HHO memerlukan larutan elektrolit sebagai komponen penting dalam proses pembentukan *Brown's Gas* melalui elektrolisis air. Larutan elektrolit berperan dalam meningkatkan produktivitas *Brown's Gas*. Kandungan larutan merupakan faktor kunci yang memengaruhi kinerja proses elektrolisis. Penggunaan akuades atau air murni adalah pilihan yang tepat, karena tidak ada kotoran atau zat terlarut di dalam air sehingga tidak ada yang menghambat proses elektrolisis air [9]. Oleh karena itu penggunaan larutan elektrolit akan meningkatkan konduktivitas sehingga produksi *Brown's Gas* tinggi. Penelitian tentang aspek desain konfigurasi pelat elektroda generator HHO tipe *dry cell* masih terbilang minim. Oleh karena itu, dilakukan pengamatan pengaruh variasi konfigurasi pelat elektroda (anoda dan katoda) untuk mengetahui produktivitas *Brown's Gas* pada generator HHO tipe *dry cell* dalam mencapai hasil performa terbaik.

2. METODOLOGI PENELITIAN

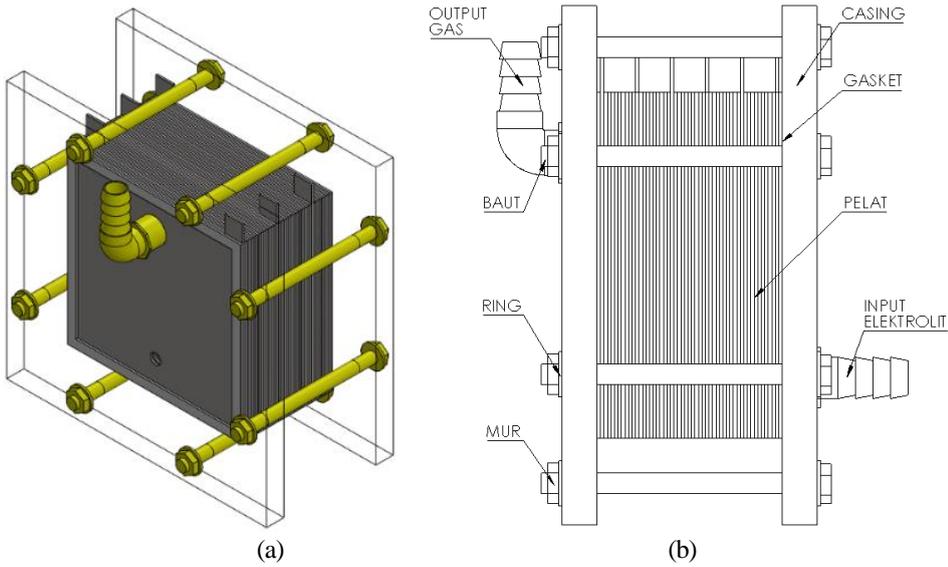
Metodologi penelitian ini menggunakan metode penelitian eksperimental (*experimental research*) yang dilakukan pengamatan secara langsung untuk menemukan hubungan sebab akibat antara variasi konfigurasi pelat elektroda dan jenis larutan elektrolit yang digunakan. Berikut langkah-langkah yang dijelaskan dalam diagram alir, seperti yang terlihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Diagram Alir Penelitian

2.1 Desain Rangkaian Geneartor HHO

Penelitian yang dilakukan mengikuti variasi konfigurasi pelat elektroda sesuai pada Tabel 1. Desain generator HHO tipe dry cell yang digunakan terdapat 26 pelat elektroda yang terbuat dari stainless steel 316L dengan ketebalan 1 mm. Setiap pelat elektroda memiliki 2 lubang vertikal dengan diameter 6 mm di bagian atas dan bawah. Gasket yang digunakan membentuk segi empat dengan tebal 1 mm. Ada dua jenis casing, yaitu casing output dan input, masing-masing dengan dimensi 150 mm × 150 mm dan tebal 1 cm. Kedua casing memiliki 8 lubang baut berdiameter 6 mm di setiap sisi dan 2 lubang berdiameter 14 mm untuk output dan input generator HHO seperti pada Gambar 3.



Gambar 3. (a) Komponen Generator HHO (b) Desain Generator HHO

2.2 Konfigurasi Pelat Elektroda

Generator HHO tipe *dry cell* yang digunakan dalam penelitian ini berpengaruh pada konfigurasi pelat elektroda. Dalam konfigurasi ini, pemilihan material, ukuran, jarak antara pelat elektroda, dan penempatan pelat elektroda (anoda dan katoda) berperan penting dalam memastikan produktivitas *Brown's Gas* yang optimal selama proses elektrolisis.

Tabel 1. Konfigurasi Pelat Elektroda

Tes	Desain	Konfigurasi Pelat Elektroda	Katoda (-)	Anoda (+)	Netral
1		3K3A20N	3	3	20
2		4K3A19N	4	3	19
3		4K4A18N	4	4	18

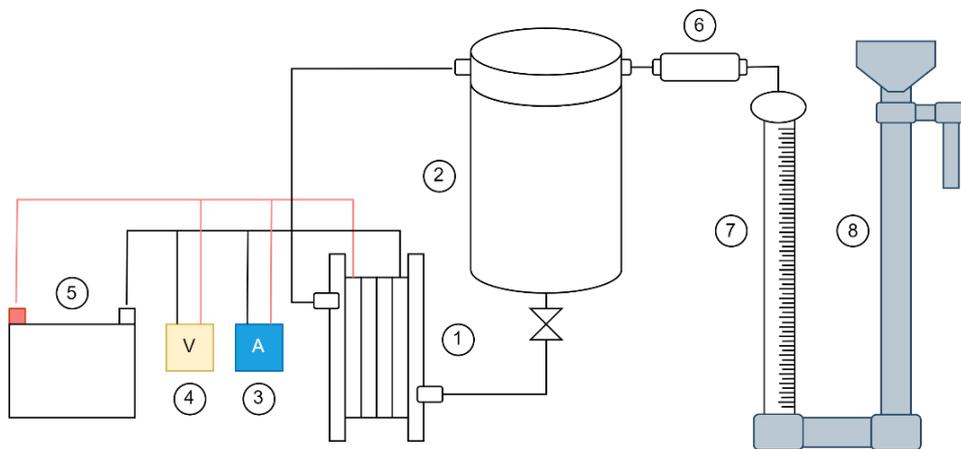
Keterangan:

: Katoda : Anoda : Netral

2.3 Prosedur Pengambilan Data

Dalam penelitian ini, suhu lingkungan dipertahankan dengan konstan selama penelitian berlangsung. Proses pemasangan dilakukan sesuai dengan berbagai konfigurasi pelat elektroda yang telah ditetapkan dalam Tabel 1 pada generator HHO dan Gambar 4. Pelat elektroda ditempatkan dengan jarak sebesar 1 mm menyesuaikan pada tebal gasket. Penentuan parameter eksperimen dilakukan menggunakan arus sebesar 10 A menggunakan inverter DC dengan mengubah arus AC ke DC. Kemudian, larutan elektrolit akudes volume 1000 ml ditambahkan ke dalam tabung bubbler. Proses elektrolisis dimulai dengan menjalankan generator HHO tipe *dry cell*. Data yang didapatkan yaitu arus listrik yang digunakan, tegangan yang dihasilkan, volume gas yang dihasilkan, dan waktu reaksi dicatat setiap interval 10 detik selama 100 detik. Selanjutnya, parameter generator HHO seperti daya, laju produksi, dan efisiensi generator HHO dapat ditentukan dari data yang tercatat.

2.4 Instalasi Alat Penelitian



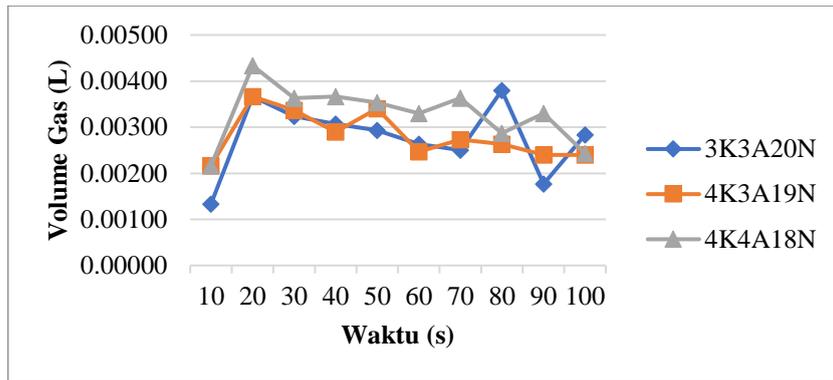
Gambar 4. Skema Penelitian

Keterangan:

1. Generator HHO
2. Tabung *Bubber*
3. Amperemeter
4. Voltmeter
5. Inverter DC
6. *Flashback Arrestor*
7. Tabung Ukur
8. Pipa Pembungan

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa hasil rata-rata laju produksi tertinggi yang didapat pada konfigurasi pelat elektroda 4K4A18N mencapai 0,00329 L/s. Hasil rata-rata laju produksi selanjutnya yang didapat pada konfigurasi pelat elektroda 4K3A19N mencapai 0,00281 L/s. Terakhir, hasil rata-rata laju produksi terendah yang didapat pada konfigurasi pelat elektroda 3K3A20N mencapai 0,00278 L/s.



Gambar 5. Grafik hubungan antara Konfigurasi pelat elektroda dan produksi volume Brown's gas

Gambar 5 menunjukkan hubungan antara jarak antar pelat elektroda pada konfigurasi elektroda dan volume Brown's gas yang dihasilkan dalam generator HHO memiliki pola yang signifikan. Semakin dekat jarak antar pelat elektroda di setiap tipe konfigurasinya, maka semakin banyak volume Brown's gas yang dihasilkan. Hal ini berbanding terbalik dengan semakin jauh jarak antar pelat elektroda disetiap tipe konfigurasi, maka semakin sedikit volume Brown's gas yang dihasilkan. [10]. Selain itu, jarak antara pelat elektroda yang dekat menurunkan resistansi dalam konfigurasi pelat elektroda, sehingga aliran ion menjadi lebih cepat. Sebaliknya, semakin jauh jarak antara pelat elektroda semakin tinggi resistansi dalam konfigurasi pelat elektroda yang dapat mengurangi intensitas arus listrik dan menurunkan volume gas. Oleh karena itu, jarak antara pelat elektroda yang semakin dekat menghasilkan volume gas yang lebih besar karena intensitas reaksi elektrolisis yang lebih tinggi akibat arus listrik yang lebih kuat. Persamaan yang disediakan [11] dapat digunakan untuk menghitung resistansi dalam konfigurasi pelat elektroda. Nilai resistansi ini membantu memahami bagaimana jarak antar pelat elektroda memengaruhi volume Brown's gas yang dihasilkan:

$$R = \frac{\rho \times l}{A} \quad (3)$$

Ket:

R = Resistansi (Ω)

ρ = Resistivitas massa jenis elektroda ($\Omega \cdot \text{mm}$)

l = Jumlah jarak antara pelat elektroda (mm)

A = Luas permukaan elektroda (mm^2)

Jika resistansi pada konfigurasi pelat elektroda meningkat, maka proses transfer elektron untuk memecah molekul H_2O akan terhambat, yang akan mengakibatkan penurunan volume gas. Pada setiap jarak antara elektroda, resistivitas material *stainless steel* 316L, dan luas permukaan elektroda sangat berpengaruh pada faktor ini yang dapat dilihat pada Tabel 2.

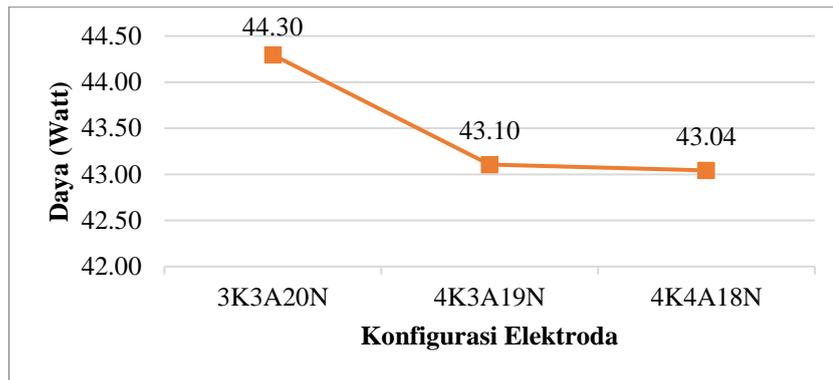
Penelitian ini tidak hanya meneliti volume Brown's gas yang dihasilkan, tetapi juga mengamati konsumsi daya yang dibutuhkan untuk proses elektrolisis. Ditemukan bahwa konfigurasi pelat elektroda, khususnya jarak antar pelat elektroda bermuatan (positif-negatif) pada setiap konfigurasi, memiliki pengaruh signifikan terhadap konsumsi daya generator HHO. Semakin jauh jarak antar pelat elektroda bermuatan, semakin besar pula konsumsi daya generator HHO. Hal ini disebabkan oleh beberapa faktor [12], yaitu adanya peningkatan resistensi, peningkatan tegangan, dan penurunan efisiensi.

Tabel 2. Hambatan Setiap Konfigurasi Pelat Elektroda

No	Konfigurasi Pelat Elektroda	l (mm)	A (mm ²)	ρ (Ω. mm)	R (Ω)	Jumlah Susunan
1	3K3A20N	5	8.043,48	7,4 × 10 ⁻⁷	4,60 × 10 ⁻¹⁰	5
2	4K3A19N	5			4,60 × 10 ⁻¹⁰	4
	4K3A19N	4			3,68 × 10 ⁻¹⁰	1
3	4K4A18N	4			3,68 × 10 ⁻¹⁰	4
	4K4A18N	3			2,72 × 10 ⁻¹⁰	3

Pada peningkatan resistensi disebabkan karena adanya hambatan aliran arus listrik, sehingga membutuhkan lebih banyak daya untuk mencapai intensitas yang dibutuhkan untuk proses elektrolisis. Seiring dengan meningkatnya resistansi, tegangan yang diperlukan untuk mengalirkan arus listrik juga meningkat. Tegangan yang lebih tinggi membutuhkan daya yang lebih besar untuk dihasilkan. Kombinasi dari resistansi yang tinggi dan tegangan yang tinggi menurunkan efisiensi proses elektrolisis, sehingga lebih banyak energi yang terbuang sia-sia dalam bentuk panas dan energi lain yang tidak terpakai.

Hasil penelitian Gambar 6 menunjukkan bahwa konsumsi daya generator HHO meningkat seiring dengan peningkatan tegangan yang diperlukan. Hal ini menegaskan bahwa jarak antar pelat elektroda merupakan faktor penting yang perlu dipertimbangkan untuk mengoptimalkan konsumsi daya dan efisiensi generator HHO. Memahami hubungan antara jarak antar pelat elektroda dan konsumsi daya generator HHO sangat penting untuk mendesain dan mengoptimalkan generator HHO agar mencapai kinerja yang maksimal dan efisiensi yang tinggi.



Gambar 6. Grafik hubungan antara konsumsi daya dan konfigurasi pelat elektroda yang digunakan

Pada konfigurasi pelat elektroda jumlah pelat yang digunakan memiliki pengaruh terhadap kebutuhan daya terutama ketika pelat netral ditambahkan. Pelat netral bertugas sebagai pembatas antara pelat elektroda (anoda dan katoda), yang menghasilkan peningkatan luas area elektrolisis dan, akibatnya, volume larutan elektrolit yang memasuki generator HHO meningkat. Ini menyebabkan peningkatan yang signifikan dalam konsumsi daya selama proses elektrolisis air. Oleh karena itu, konfigurasi pelat elektroda secara langsung memengaruhi kebutuhan daya dari generator HHO [8]. Konfigurasi dengan jarak yang lebih besar dan jumlah pelat yang lebih banyak cenderung menyebabkan peningkatan signifikan dalam kebutuhan daya yang diperlukan untuk proses elektrolisis. Persamaan untuk menghitung daya dapat dinyatakan sebagai berikut [11]:

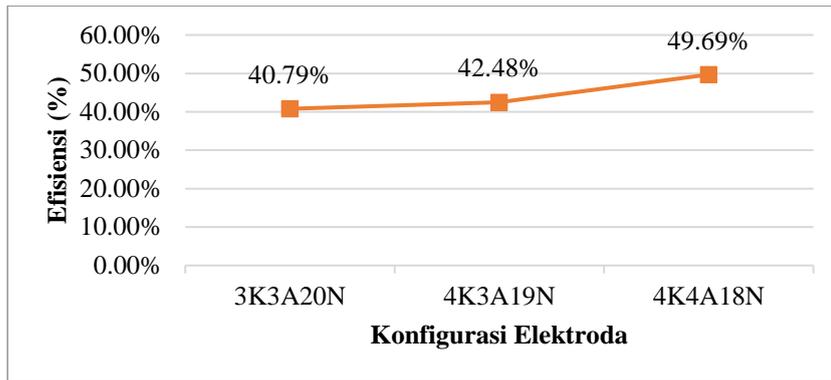
$$P = V \times I \tag{4}$$

Ket:

P = Daya yang dibutuhkan generator HHO (Watt)

V = Tegangan listrik (Volt)

I = Arus listrik (Ampere)



Gambar 7. Grafik hubungan efisiensi generator HHO dan konfigurasi pelat elektroda

Efisiensi yang diperoleh melalui perbandingan antara energi yang dihasilkan oleh proses elektrolisis dengan energi yang diperlukan untuk menjalankan proses tersebut. Energi yang dihasilkan berupa volume *Brown's Gas* setiap interval percobaan, sementara energi yang dibutuhkan adalah daya yang diperlukan oleh setiap konfigurasi pelat elektroda. Gambar 7 menunjukkan hasil efisiensi tertinggi yang didapat pada konfigurasi pelat elektroda 4K4A18N mencapai 49,69%. Hasil efisiensi selanjutnya yang didapat pada konfigurasi pelat elektroda 4K3A19N mencapai 42,48%. Terakhir, hasil efisiensi terendah yang didapat pada konfigurasi pelat elektroda 3K3A20N mencapai 40,79%. Efisiensi meningkat dengan adanya jumlah pelat elektroda (anoda dan katoda) pada konfigurasi pelat elektroda yang banyak karena mengakibatkan jarak antar pelat elektroda semakin dekat. Untuk menentukan efisiensi generator HHO dapat ditulis pada persamaan sebagai berikut [13]:

$$\eta_{\text{HHO}} = \frac{Q_{\text{HHO}} \times \rho_{\text{HHO}} \times \text{LHV}_{\text{HHO}}}{P} \times 100\% \quad (5)$$

Ket:

η_{HHO} = Efisiensi generator HHO (%)

Q_{HHO} = Laju produktivitas gas HHO (L/s)

ρ_{HHO} = Massa Jenis Gas HHO (0,491167 g/L)

LHV_{HHO} = *Lower Heating Value* atau nilai pembakaran terendah (13250 J/g)

P = Daya yang dibutuhkan generator HHO (Watt)

Efisiensi dipengaruhi oleh beberapa faktor yang mencakup termasuk laju produksi, massa jenis *Brown's gas*, *Lower Heating Value* (LHV) *Brown's gas*, dan energi yang dibutuhkan untuk proses elektrolisis, yaitu daya listrik. Massa jenis *Brown's gas* dan *Lower Heating Value* (LHV) *Brown's gas* tetap konsisten dalam semua variasi penelitian ini karena perbandingan antara gas hidrogen dan oksigen dalam *Brown's Gas* tidak berubah. Hanya volume *Brown's Gas* dan daya yang dibutuhkan yang mengalami perubahan. Penggunaan daya listrik yang tinggi dapat mengakibatkan pemborosan energi dan menurunkan efisiensi generator HHO [14]. Akuades yang digunakan sebagai larutan elektrolit adalah air murni yang dapat mudah terurai menjadi gas hidrogen dan oksigen. Selain itu, akuades tidak ada zat mineral ataupun endapan didalamnya sehingga penggunaan daya listrik yang relatif rendah. Dalam penelitian ini, efisiensi generator HHO akan meningkat sejalan dengan produktivitas *Brown's Gas*, tetapi sebaliknya akan berkurang seiring dengan peningkatan daya yang dibutuhkan oleh generator HHO untuk proses elektrolisis.

4. KESIMPULAN

Dalam kesimpulan ini mengungkapkan bahwa konfigurasi pelat elektroda memiliki pengaruh signifikan terhadap produksi *Brown's Gas* dan efisiensi generator HHO tipe *dry cell*. Konfigurasi pelat elektroda dengan jarak antara pelat elektroda semakin dekat dan jumlah pelat netral yang sedikit dapat meningkatkan produksi *Brown's Gas* dan efisiensi. Efisiensi tertinggi tercatat pada konfigurasi pelat elektroda 4K4A18N, sementara efisiensi terendah terjadi pada konfigurasi pelat elektroda 3K3A20N. Hasil ini menunjukkan pentingnya perancangan yang cermat dalam memilih konfigurasi pelat elektroda untuk meningkatkan kinerja generator HHO.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada Graha Riset UPN "Veteran" Jawa Timur atas kontribusi dan dukungannya dalam penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] IESR. (2022). *Indonesia Energy Transition Outlook 2023 Tracking Progress of Energy Transition in Indonesia: Pursuing Energy Security in the Time of Transition*, Jakarta: Indonesia Clean Energy Outlook (ICEO).
- [2] Fitriyani. (2021). Pengaruh Luas Permukaan Elektroda Dengan Penambahan PWM Controller Terhadap Efisiensi Produksi Gas Hidrogen Pada Proses Elektrolisis. *Jurnal Sains Fisika*, (1), 42-52.
- [3] Hidayatulloh, P. (2015). Diskursus Bahan Bakar Air. *Sinergi*, 19(2): 129-138.
- [4] Sudarmanta, B., Darsopuspito, S., & Sungkono, D. (2018). Application of Dry Cell HHO Gas Generator with Pulse Width Modulation on Sinjai Spark Ignition Engine Performance. *IJRET: International Journal of Research in Engineering and Technology*, 5(2), 105-112.
- [5] Chang, R. (2008). *GENERAL CHEMISTRY The Essential Concepts Fifth Edition*, New York: McGraw-Hill.
- [6] Sudrajat, A., Handayani, E.M., Tamaldin, N., & Yamin, A.K.M. (2018). Principle of Generator HHO Hybrid Multistack Type Production Technologies to Increase HHO Gas Volume. *The International Cooperation for Education about Standardization (ICES)*, 3(5), 1-17.
- [7] Hakizima, J.N., Gourich, B., Chafi, M., Stiriba, Y., Vial, C., Drogui, P., and Naja, J. (2017). Electrocoagulation Process in Water Treatment: A Review of Electrocoagulation Modeling Approaches. *Desalination*, 1-21.
- [8] Fretes, H.V.D., Soeparman, S., & Widhiyanuriyawan, D. (2019). Pengaruh Variasi Diameter Lubang dan Bentuk Profil Elektroda Serta Jumlah Pelat Netral Terhadap Produksi Brown Gas. *Rekayasa Mesin*, 1, 42-52.
- [9] Khotimah, H., Anggraeni, E.W., & Setianingsih, A. (2017). Karakterisasi Hasil Pengolahan Air Menggunakan Alat Destilasi Characterization of Water Processing Using Distillation Equipment. *Jurnal Chemurgy*, 1(2), 34-38.
- [10] Robbi, N., Marlina, E., & Basjir, M. (2017). Alat Produksi HHO Tipe Dry Cell Dengan Variasi Jarak Cell Elektroda. *Info Teknik*, 18(2), 161-170.
- [11] Serway, A. R., & Jr. Jewerr, J. W., (2008). *PHYSICS for Scientists and Engineers with Modern Physics Seventh Edition*, Brooks/Cole: David Harris.
- [12] Widhiyanuriyawan, D., Kusumaningsih, H., & Sari, T.P. (2016). Pengaruh Ketebalan Pelat Elektroda Terhadap Produktivitas Brown's Gas. *Proceeding Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin XV (SNTTM XV)*, 96-400.
- [13] Prasetyo, Diningrum, J. P., & Rahmanto, R. H. (2019). Analisis Penggunaan Variasi Katalis NaOH, NaCl, Dan KOH Terhadap Laju Aliran Gas HHO. *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, 7(2), 64-71.
- [14] Firnanda, H. & Barita. (2020). Pengaruh Variasi Larutan Elektrolit Pada Generator HHO. *"MEKANIK" Jurnal Ilmiah Teknik Mesin ITM*, 6(2), 69-76.