

The Production Of Hydrogen Gas Employing Water Electrolysis With Electrical Current Variabels

Produksi Hidrogen Menggunakan Teknik Elektrolisis Air Dengan Variabel Kuat Arus

Messiah C. Sangian¹, Glanny M. C. Mangindaan^{1,*}, Hanny F. Sangian²

¹Dept. of Electrical Engineering, Sam Ratulangi University Manado, Kampus Bahu St., 95115, Indonesia

²Dept. of Physics, Sam Ratulangi University Manado, Kampus Bahu St., 95115, Indonesia

*Corresponding author: glanny_m@unsrat.ac.id; messiahcharity@gmail.com; hannysangian@yahoo.co.id

Received: 18 February 2023; revised: 8 April 2023; accepted: 17 April 2023

Abstract — This work aimed to produce HHO gas using water electrolysis with an electrical current ranging from 10 A to 100 A, and the area of electrode plates was $2 \times 18 \times 30 \times 30$ cm². The electrolysis apparatus is constructed in an acrylic container which is composed of 9 plates of positive electrode followed by 9 plates of the negative electrode and separated by a diaphragm. The box filled with electrolyte liquid was at 25 Liters and each electrode was connected to a power supply whereby the current and voltage could be altered. The first study was at producing HHO gas using pure water without employing a catalyst and the electrical current was changed instead. Furthermore, the application of catalyst as much as 200-400 grams. It was found that the highest volume of HHO gas was produced with a current of 70 Amperes with a mass of 400 grams catalyst, amounting to 1.300 mL in 113 seconds while the volume of HHO gas was at current of 10 Amperes without catalyst, amounting to 200 mL in 139 seconds.

Key words — Water electrolysis; HHO gas; electric current; catalyst.

Abstrak — Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menghasilkan gas HHO menggunakan elektrolisis air dengan arus listrik mulai dari 10-100 Ampere dengan luas pelat elektroda $2 \times 18 \times 30 \times 30$ cm². Alat elektrolisis dirancang dalam satu wadah berbahan akrilik yang tersusun atas 9 pelat elektroda positif dan 9 pelat elektroda negatif dan dipisahkan oleh diafragma. Larutan elektrolit sebanyak 25 Liter dimasukkan ke dalam wadah dan setiap elektroda dihubungkan ke power supply sehingga arus dan tegangan dapat diubah. Percobaan awal adalah produksi gas HHO menggunakan air murni tanpa katalis dengan variasi arus listrik. Selanjutnya dilakukan penambahan katalis sebanyak 200-400 gram. Ditemukan bahwa volume gas HHO terbanyak dihasilkan oleh kuat arus 70 Ampere dengan massa katalis 400 gram sejumlah 1.300 mL dalam 113 detik sedangkan untuk volume gas HHO terendah terdapat di kuat arus 10 A tanpa katalis sebesar 200 mL pada 139 detik.

Kata kunci — Elektrolisis Air, Gas HHO, Arus Listrik, Katalis.

I. PENDAHULUAN

Dunia sekarang sedang diperhadapkan pada permasalahan sangat rumit, yaitu berkurangnya cadangan bahan bakar berbasis fosil, seperti minyak bumi, batu bara, dan gas [1]. Ada beberapa sumber bahan bakar alternatif terbarukan yang tersedia, yaitu bioetanol, biodiesel, biohidrogen, energi matahari, energi angin, energi ombak, dan lain-lain [2].

Produksi gas hidrogen sedang dilakukan secara besar-besaran saat ini dengan menggunakan beberapa bahan baku, seperti tumbuh-tumbuhan [3], gas alam (CH₄) [4], minyak [5], dan air [6].

Hidrogen telah diakui oleh banyak negara sebagai vektor energi alternatif di masa depan untuk mencapai *Net Zero Emission*. Kepadatan massa energinya yang tinggi (108.738 J/g, tiga kali lipat energi dari 1 gram bensin), kemungkinan memperoleh hidrogen dari banyak sumber, efisiensi tinggi yang energinya diekstraksi dalam sel bahan bakar dan diubah menjadi listrik, dan fakta bahwa penggunaannya tidak menghasilkan emisi berbahaya, menjadikan hidrogen sebagai bahan bakar masa depan yang berkelanjutan [7].

Survey literatur singkat ini dapat disimpulkan bahwa teknologi elektrolisis untuk memproduksi gas hidrogen dan oksigen telah lama dan umum dilakukan, juga teknologi ini telah menjadi sumber terbuka untuk publik. Namun demikian, konfigurasi, material elektroda dan diafragma masih dapat dikembangkan terus menerus sampai mendekati keidealannya. Kombinasi elektrolit yang digunakan, juga terus berkembang dan masih menjadi kajian utama pada teknologi elektrolisis yang dipublikasikan akhir-akhir ini.

Kombinasi katalis atau elektrolit alkali sejauh ini belum dilaporkan penggunaannya dalam produksi gas hidrogen dengan menggunakan teknik elektrolisis. Penggunaan diafragma plastik transparan akan dimasukkan di antara elektroda yang ini juga perlu dikembangkan untuk melihat pengaruh pada laju produksi gas. Produksi gas hidrogen dan oksigen dengan teknik elektrolisis air umumnya menggunakan arus DC dibawah 10 A. Pada pekerjaan ini akan menganalisis laju produksi gas hidrogen dan oksigen pada kuat arus yang besar, yaitu 10-100 A.

A. Penelitian Terkait

Elektrolisis air telah lama dipelajari dan dipublikasikan oleh para ahli selama puluhan tahun. Peralatan elektrolisis mempunyai batasan kemampuan operasional dan biaya konstruksi serta perawatan perlu diminimalkan biayanya [8].

Dalam elektrolisis air sangat dipengaruhi oleh beberapa faktor, di antaranya kualitas elektrolit, suhu, tekanan, dan hambatan listrik. Bahan asbestos sangat baik digunakan sebagai material diafragma karena mempunyai porositas yang tinggi [9].

B. Elektrolisis Air

Elektrolisis adalah suatu proses penguraian molekul air (H₂O) menjadi Hidrogen (H₂) dan Oksigen (O₂) dengan energi pemicu reaksi berupa energi listrik. Proses ini dapat berlangsung ketika dua buah elektroda ditempatkan dalam air kemudian arus searah dilewatkan diantara dua elektroda

tersebut. Hidrogen terbentuk pada katoda sementara oksigen pada anoda [10].

Reaksi keseluruhan yang setara dari elektrolisis air dapat dituliskan sebagai berikut :



Gas hidrogen dan oksigen yang dihasilkan dari reaksi ini membentuk gelembung pada elektroda serta bisa dikumpulkan. Prinsip ini kemudian dimanfaatkan untuk menciptakan hidrogen dan hidrogen peroksida (H_2O_2) yang dapat digunakan sebagai bahan bakar kendaraan hidrogen [11].

C. Perhitungan Gas HHO

Berikut ini merupakan parameter perhitungan untuk mencari mol total, mol gas H_2 dan O_2 , massa gas H_2 dan O_2 , volume gas H_2 dan O_2 , efisiensi gas H_2 dan biaya produksi hidrogen untuk proses elektrolisis.

a. Perhitungan volume prediksi gas HHO

Untuk menghitung volume prediksi gas HHO diperlukan nilai-nilai melalui perhitungan berikut ini.

1. Perhitungan mol total gas

Sebelum menghitung jumlah mol total, terlebih dahulu mencari nilai tekanan mutlak dengan persamaan berikut.

$$P = P_0 + \rho g h$$

(1)

Dimana:

P = Tekanan mutlak (Pa)

P_0 = Tekanan udara normal ($1,01325 \times 10^5$ Pa)

P = Tekanan hidrostatik (Pa)

ρ = massa jenis air (1000 kg/m^3)

g = percepatan gravitasi bumi (10 m/s^2)

h = ketinggian yang diukur dari permukaan air (m)

Untuk mencari jumlah mol total digunakan persamaan sebagai berikut.

$$n = \frac{P \times V}{R \times T} \quad (2)$$

Dimana:

P = Tekanan mutlak (Pa)

V = Volume gas (m^3)

n = mol total gas (mol)

R = konstanta gas ideal ($8,3145 \text{ J.K}^{-1}.\text{mol}^{-1}$)

T = suhu normal ruangan (K)

2. Perhitungan mol H_2 dan O_2

Untuk menghitung mol gas H_2 dan O_2 melalui persamaan reaksi elektrolisis air $2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{H}_2 + \text{O}_2$ dapat menggunakan persamaan berikut.

$$n_{\text{H}_2} = \frac{\text{Koefisien reaksi } \text{H}_2}{\text{Jumlah koefisien } \text{H}_2 \text{ dan } \text{O}_2} \times n \quad (3)$$

$$n_{\text{O}_2} = \frac{\text{Koefisien reaksi } \text{O}_2}{\text{Jumlah koefisien } \text{H}_2 \text{ dan } \text{O}_2} \times n \quad (4)$$

Dimana:

n_{H_2} = jumlah mol H_2 (mol)

n_{O_2} = jumlah mol O_2 (mol)

n = mol total gas (mol)

Koefisien reaksi H_2 = 2

Koefisien reaksi O_2 = 1

Jumlah koefisien H_2 dan O_2 = 3

3. Perhitungan volume molar gas H_2 dan O_2

Untuk menghitung volume molar dari masing-masing gas H_2 dan O_2 menggunakan persamaan berikut,

$$V_{\text{H}_2} = n_{\text{H}_2} \times 24 \text{ L/mol} \quad (5)$$

$$V_{\text{O}_2} = n_{\text{O}_2} \times 24 \text{ L/mol} \quad (6)$$

Dimana:

V_{H_2} = volume H_2 (L)

V_{O_2} = Volume O_2 (L)

n_{H_2} = jumlah mol H_2 (mol)

n_{O_2} = Jumlah mol O_2 (mol)

Sehingga volume prediksi gas HHO dapat dihitung dengan persamaan berikut.

$$V_{\text{total}} = V_{\text{H}_2} + V_{\text{O}_2} \quad (7)$$

b. Perhitungan efisiensi H_2

Untuk mendapatkan nilai efisiensi H_2 maka terlebih dahulu diperlukan beberapa nilai yaitu:

1. Perhitungan massa molar H_2 dan O_2

Massa molar H_2 dan O_2 dapat dihitung dengan persamaan berikut ini.

$$m_{\text{H}_2} = n_{\text{H}_2} \times Mr \text{ H}_2 \quad (8)$$

$$m_{\text{O}_2} = n_{\text{O}_2} \times Mr \text{ O}_2 \quad (9)$$

Dimana:

m_{H_2} = massa gas H_2 (g)

n_{H_2} = jumlah mol gas H_2 (mol)

$Mr \text{ H}_2$ = massa molekul relatif gas H_2 (2 g/mol)

m_{O_2} = massa gas O_2 (g)

n_{O_2} = jumlah mol gas O_2 (mol)

$Mr \text{ O}_2$ = massa molekul relatif gas O_2 (32 g/mol)

2. Perhitungan energi listrik

Besarnya energi listrik yang digunakan pada peralatan listrik dapat dihitung melalui persamaan matematis berikut ini.

$$W = V \times I \times t \quad (10)$$

Dimana:

V = Tegangan listrik (Volt)

I = Kuat arus listrik (Ampere)

t = selang waktu (s)

Selanjutnya menghitung efisiensi H_2 dengan persamaan berikut ini.

$$\eta = \frac{m_{\text{H}_2} \times W_{\text{H}_2}}{W} \times 100\% \quad (11)$$

c. Perhitungan biaya produksi H_2

Tahap awal awal untuk menghitung biaya produksi hidrogen adalah dengan mencari biaya pemakaian listrik yang dirumuskan dalam persamaan berikut ini.

$$COE = W \times Rp/KWh \quad (12)$$

COE = Cost of electricity (Rp)

W = Energi listrik (J)

Tarif listrik gol. B-2/TR = Rp 1.444,70/KWh.

Biaya produksi H_2 dapat dihitung dengan persamaan berikut.

$$COH = \frac{COE}{m_{\text{H}_2}} \quad (13)$$

II. METODE PENELITIAN

A. Alat dan Bahan

Adapun peralatan yang akan digunakan dalam riset ini adalah 2 plat elektroda berbahan stainless steel ($30 \times 30 \text{ cm}^2$; 1,2 mm), power supply DC (220 Volt ; 10–200 A), Voltmeter (0-20 V), dan multimeter (0-100 A), teslameter, clamp meter (400 A ; 600 V) gelas ukur (1000 mL), akrilik ($1000 \times 2000 \text{ mm}$; 4 mm), thermometer raksa (0-100 °C) selang, pipa, sambungan pipa, isolasi kabel, obeng, kabel, klem c, timbangan.

Bahan yang akan digunakan adalah *potassium hydroxide* (KOH) dan air bersih.

B. Desain dan Konstruksi Alat Elektrolisis

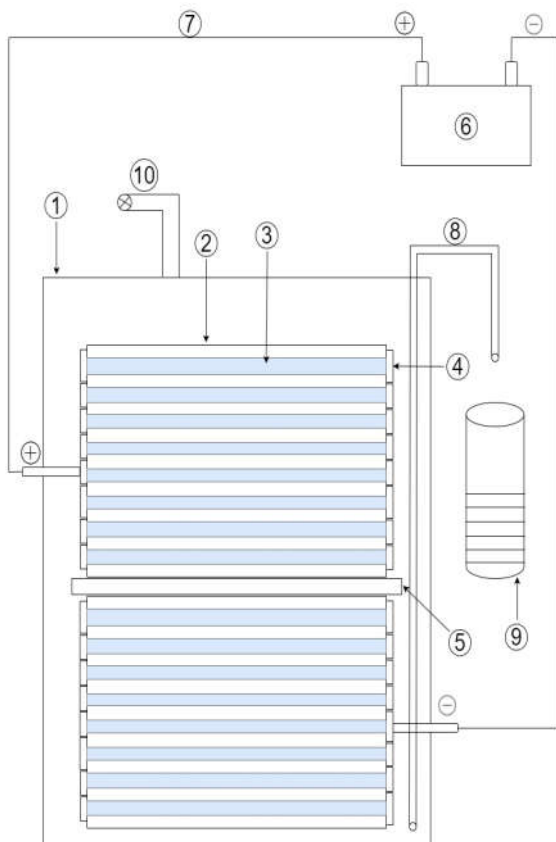
Dalam suatu wadah elektrolisis seperti yang ditunjukkan pada gambar 1, terbuat dari plastik akrilik ditunjukkan oleh nomor 1 terdapat susunan 9 elektroda yang terhubung dengan kutub positif sumber arus / anoda yang merupakan tempat terbentuknya gas hidrogen dan 9 elektroda yang terhubung dengan kutub negatif sumber arus / katoda yang merupakan tempat terbentuknya gas oksigen. Di antara elektroda yg berbahan stainless steel ditunjukkan oleh nomor 2 tersebut terdapat rongga udara ditunjukkan oleh nomor 3 untuk memperluas permukaan elemen. Perancangan ini bertujuan untuk menghasilkan gas HHO yang lebih banyak.

Kontak/las ditunjukkan oleh nomor 4 untuk menghubungkan stainless steel yang terpisah karena rongga udara kemudian

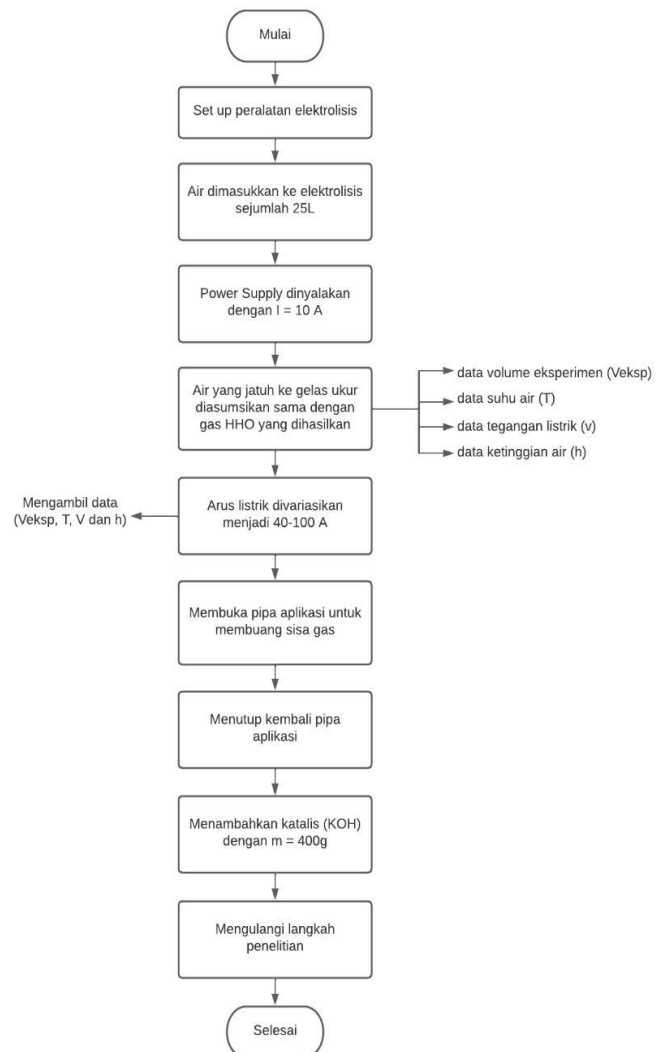
diafragma ditunjukkan oleh nomor 5 yang terbuat dari plastik khusus sebagai pembatas antara anoda dan katoda guna memisahkan hasil gas hidrogen dan oksigen agar tidak bercampur karena bisa menyebabkan ledakan juga untuk memperkuat medan listrik. Kemudian, anoda dan katoda dihubungkan ke power supply ditunjukkan oleh nomor 6 sebagai sumber arus DC yang bisa mengalir arus sebesar 10-100 A melalui kabel ditunjukkan oleh nomor 7 menuju elemen atau elektroda yang merupakan suatu hal baru dalam level penelitian dimana akan dikaji produksi gas H_2 dan O_2 dengan aliran arus yang tinggi. Adapun pipa ditunjukkan oleh nomor 8 sebagai tempat keluarnya air akibat tekanan dari gas HHO pada alat elektrolisis yang akan menuju ke gelas ukur pada nomor 9. Pipa aplikasi ditunjukkan oleh nomor 10 sebagai tempat penyalur gas HHO agar gas tidak kembali ke elektroliser sehingga meminimalisir terjadinya ledakan dan untuk mengaplikasikan gas HHO pada kompor hybrid di riset selanjutnya.

C. Diagram Alur Penelitian

Pada gambar 2 menunjukkan alur proses penelitian dengan tahap awal yaitu dengan mendesain dan merancang sebuah alat



Gambar 1. Desain Alat Penelitian



Gambar 2. Diagram Alur Penelitian

produksi gas hidrogen yang nantinya menjadi sumber atau tempat untuk mengambil data.

Sebelum pengambilan data, peralatan yang digunakan di set-up sesuai dengan Gambar 3. Air dituangkan dalam wadah sampai elektroda terendam kemudian kabel dihubungkan ke plat elektroda positif dan negatif serta ke power supply DC. Amperemeter dirangkaikan secara seri dengan salah satu elektroda dan voltmeter disusun paralel dengan kedua elektroda.

Power supply dihidupkan dengan kuat arus 10 A yang mengalir ke plat elektroda dan gelembung diamati. Kuat arus listrik yang mengalir ke elektroda positif atau yang keluar dari elektroda negatif dan tegangan listrik pada kedua plat diukur. Kenaikan suhu akibat pelepasan dari energi disipasi diamati dan kemudian dicatat di tabel pengamatan.

Pada waktu tertentu (t) ada sejumlah gas hidrogen dan oksigen dihasilkan dan kemudian terperangkap di permukaan air yang meningkatkan tekanan. Karena adanya peningkatan tekanan air terdorong kebawah sehingga sejumlah air keluar dari pipa menuju gelas ukur seperti pada gambar 3.2. Besarnya air yang dipindahkan diasumsikan sama dengan gas hidrogen dan oksigen yang dihasilkan. Parameter pengambilan data diantaranya T1 adalah suhu alkali pada wadah dan T2 adalah suhu air di gelas ukur, kuat arus listrik (I), volume air di dalam alat elektrolisis ($V_{eksperimen}$), beda potensial anoda dan katoda (V), hambatan listrik (R) yang terjadi akibat operasi proses pembuatan gas hidrogen antara anoda dan katoda dan tinggi permukaan elektrolit (h). Eksperimen ini dilakukan pada beberapa arus listrik yaitu 10 A, 40 A, 70 A, sampai 100 A. Parameter lain yang akan diteliti adalah jumlah gas hidrogen dan oksigen dari proses elektrolisis dengan menggunakan air murni tanpa katalis dan dengan katalis KOH yang massanya mulai dari 200 g, 250 g, 300 g, 350 g sampai 400 g.

Perhitungan data yang pertama yaitu dengan menentukan jumlah mol total gas yang dihasilkan dengan menggunakan persamaan gas ideal dengan memasukkan volume air yang

jatuh ke dalam gelas ukur, kedua mencari mol dari masing-masing gas H_2 dan O_2 dengan mengalikan mol total dengan perbandingan koefisien reaksi gas dan jumlah mol gas dari persamaan reaksi elektrolisis air, ketiga melakukan perhitungan volume gas H_2 dan O_2 yang selanjutnya dijumlahkan untuk membuktikan kebenaran asumsi penelitian sehingga mendapatkan volume prediksi, keempat menghitung massa gas H_2 dan O_2 dengan perkalian antara mol gas dengan massa molekul relatif gas, kelima menghitung efisiensi dari gas H_2 dan biaya produksi hidrogen serta energi listrik yang terpakai pada proses elektrolisis. Setelah itu dilanjutkan dengan menganalisa hasil perhitungan melalui grafik.

Untuk mencari jumlah gas yang dihasilkan dalam mol, atau massa digunakan persamaan gas ideal $P V = n R T$, dimana P adalah tekanan udara normal ($1,013 \times 10^5$ Pa) ditambah dengan tekanan hidrostatik, $P_h = \rho g h$; V adalah volume gas (m^3); n adalah jumlah mol gas (mol); R adalah konstanta gas umum ($8,31 J/m^3.K$) dan T adalah suhu mutlak gas (K); P_h adalah tekanan hidrostatik; ρ adalah massa jenis air ($1000 kg/m^3$); g adalah percepatan gravitasi bumi ($10 m/s^2$) dan h adalah tinggi permukaan elektrolit (m). Penggunaan persamaan keadaan gas ideal ini dimungkinkan karena kondisi eksperimen terjadi pada tekanan yang sangat dekat dengan tekanan udara normal (1 atm) dan suhu ruang.

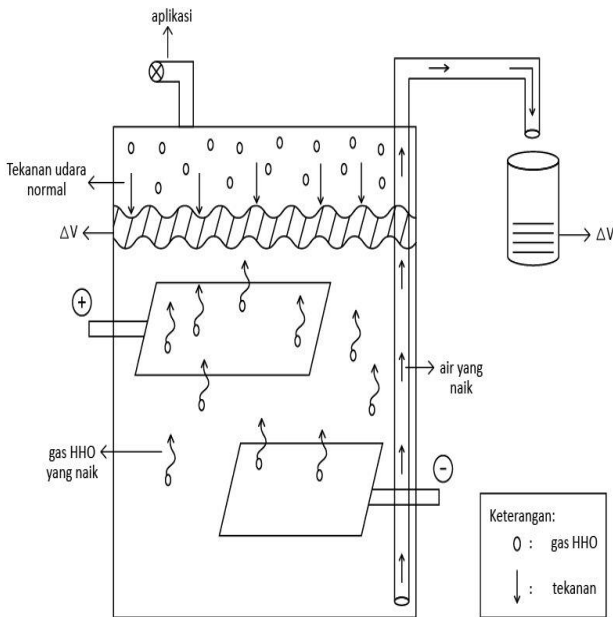
D.Perhitungan Gas HHO

Perhitungan ini dilakukan pada salah satu data yang terdapat pada proses elektrolisis tanpa katalis untuk mencari mol total, mol gas H_2 dan O_2 , massa gas H_2 dan O_2 , volume gas H_2 dan O_2 , efisiensi gas H_2 serta biaya listrik proses elektrolisis.

1) Perhitungan mol total

Diketahui volume air yang diasumsikan sebagai gas HHO yang dihasilkan sebesar 100 mL atau $10^{-4} m^3$, konstanta gas umum ditetapkan senilai $8,3145 J.K^{-1}.mol^{-1}$, suhu normal ruangan $34^\circ C$ atau 307 K, tekanan udara normal $1,01325 \times 10^5$ Pa atau 1 atm, massa jenis air $1000 kg/m^3$, percepatan gravitasi bumi $10 m/s^2$ dan ketinggian yang diukur dari permukaan air 20 cm atau 0,2 m. Perhitungan mol total adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 P \times V &= n \times R \times T \\
 n &= \frac{P \times V}{R \times T} \\
 n &= \frac{(P_o + \rho g h) V}{R T} \\
 &= \frac{(1,01325 \times 10^5 + 10^3 \times 10 \times 2 \times 10^{-1}) 10^{-4}}{8,3145 \times 307} \\
 &= \frac{(1,01325 \times 10^5 + 10^3 \times 2) 10^{-4}}{2.552,5515} \\
 &= \frac{2.552,5515}{(101,325 \times 10^3 + 2 \times 10^3) 10^{-4}} \\
 &= \frac{2.552,5515}{[10^3(101,325 + 2)] 10^{-4}} \\
 &= \frac{2.552,5515}{10^3 \times 103,325 \times 10^{-4}} \\
 &= \frac{2.552,5515}{103,325 \times 10^{-1}} \\
 &= \frac{2.552,5515}{103,325}
 \end{aligned}$$



Gambar 3. Skema gas HHO yang terperangkap di permukaan air

$$= \frac{10,3325}{2.552,5515}$$

$$= 0,00404791 \text{ mol}$$

2) *Perhitungan mol H₂ dan O₂*

Diketahui koefisien reaksi H₂ adalah 2, koefisien reaksi O₂ yaitu 1, jumlah koefisien H₂ dan O₂ sama dengan 3 dan jumlah mol total senilai 0,00404791 mol dengan perhitungan mol H₂ dan O₂ sebagai berikut.

$$n_{H_2} = \frac{\text{Koefisien reaksi } H_2}{\text{Jumlah koefisien } H_2 \text{ dan } O_2} \times n$$

$$= \frac{2}{3} \times 0,00404791$$

$$= 0,00269861 \text{ mol}$$

$$n_{O_2} = \frac{\text{koefisien reaksi } O_2}{\text{Jumlah koefisien } H_2 \text{ dan } O_2} \times n$$

$$= \frac{1}{3} \times 0,00404791$$

$$= 0,00134930 \text{ mol}$$

3) *Perhitungan volume molar gas H₂ dan O₂*

Diketahui volume 1 mol gas pada keadaan kamar (RTP) adalah 24 L/mol. Perhitungan volume molar gas H₂ dan O₂ adalah sebagai berikut

$$V_{H_2} = n_{H_2} \times 24 \text{ L/mol}$$

$$= 0,00269861 \times 24$$

$$= 0,06476664 \text{ L}$$

$$V_{O_2} = n_{O_2} \times 24 \text{ L/mol}$$

$$= 0,00134930 \times 24$$

$$= 0,0323832 \text{ L}$$

Untuk menghitung volume total dari gas H₂ dan O₂ adalah sebagai berikut

$$V_{prediksi} = V_{H_2} + V_{O_2}$$

$$= 0,06476664 + 0,0323832$$

$$= 0,09714984 \text{ L}$$

4) *Perhitungan massa molar H₂ dan O₂*

Pada perhitungan di atas telah didapati nilai mol H₂ 0,00269861 mol, mol O₂ 0,00134930 mol dan diketahui massa molekul relatif H₂ ialah 2 g/mol serta massa molekul relatif O₂ yaitu 32 g/mol. Perhitungan massa molar H₂ dan O₂ adalah sebagai berikut.

$$m_{H_2} = n_{H_2} \times Mr H_2$$

$$= 0,00269861 \times 2$$

$$= 0,00539722 \text{ g}$$

$$m_{O_2} = n_{O_2} \times Mr O_2$$

$$= 0,00134930 \times 32$$

$$= 0,0431776 \text{ g}$$

5) *Perhitungan energi listrik*

Diketahui hasil pengukuran tegangan 33,15 V, kuat arus 10 A dalam 77 s dengan perhitungan sebagai berikut.

$$W = V \times I \times t$$

$$= 33,15 \times 10 \times 77$$

$$= 25.525,5 \text{ J}$$

Perhitungan efisiensi menggunakan persamaan berikut ini dengan nilai massa H₂ 0,00539722 g atau 0,00000539722 kg

dan nilai kepadatan energi gas hidrogen ditetapkan sebesar $120 \times 10^6 \text{ J/kg}$.

$$\eta = \frac{m_{H_2} \times W_{H_2}}{W} \times 100\%$$

$$= \frac{0,00000539722 \times 120 \times 10^6}{25.525,5} \times 100\%$$

$$= \frac{647,6664}{25.525,5} \times 100\%$$

$$= 0,025373309043897 \times 100\%$$

$$= 2,537330904389728\%$$

6) *Perhitungan biaya produksi H₂*

Telah diketahui pada perhitungan sebelumnya bahwa energi listrik sebesar 25.525,5 J atau 0,00709042 KWh dan tarif listrik rumah tangga dengan golongan tarif B-2/TR sejumlah Rp 1.444,70 /KWh. Perhitungan biaya listrik adalah sebagai berikut.

$$COE = W \times Rp/KWh$$

$$= 0,00709042 \times 1.444,70$$

$$= Rp 10,243529774$$

Biaya produksi hidrogen dapat dihitung melalui persamaan berikut dimana telah diketahui biaya listrik sebesar Rp 10,243529774 dan massa H₂ 0,00539722 g atau 0,00000539722 kg.

$$COH = \frac{COE}{m_{H_2}}$$

$$= \frac{10,243529774}{0,00000539722}$$

$$= Rp 1.897.927,039105317/kg H_2$$

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Analisa volume gas HHO yang dihasilkan pada proses elektrolisis

Tabel 1 merupakan hasil volume gas HHO maksimum dan minimum dari proses elektrolisis.

Berdasarkan tabel I, dapat diketahui bahwa volume maksimum yang bisa dihasilkan oleh alat elektrolisis adalah pada arus 70 A dengan massa katalis 400 g yaitu sebesar 1300 mL dalam 113 s. Kemudian untuk volume minimum yaitu pada arus 10 A tanpa katalis sejumlah 200 mL di 139 s.

Dengan menaikkan arus listrik dan konsentrasi katalis akan semakin meningkatkan produksi gas HHO pada proses elektrolisis [12].

B. Analisa efisiensi gas hidrogen pada proses elektrolisis

Tabel II merupakan hasil perhitungan efisiensi gas hidrogen maksimum dan minimum dari proses elektrolisis.

TABEL I
VOLUME GAS HHO MAKSIMUM DAN MINIMUM

t (s)	V (mL)	m (KOH)	I (A)
113	1300	400 g	70
139	200	0 g	10

TABEL II
EFISIENSI GAS HIDROGEN MAKSIMUM DAN MINIMUM

t (s)	ηH_2 (%)	m (KOH)	I (A)
28-221	54,99-66,55	400 g	10
28-300	0,25-0,38	0 g	100

TABEL III
BIAYA PRODUKSI HIDROGEN MAKSIMUM DAN MINIMUM

t (s)	COH (Rp/kg H ₂)	m (KOH)	I (A)
28-221	72.361-87.580	400 g	10
28-300	18.933.521-19.149.904	0 g	100

Berdasarkan tabel II, dapat diketahui bahwa pada kuat arus 10 A dengan katalis 400 g memiliki nilai efisiensi maksimum dengan range 54,99-66,55% pada selang waktu 28-221 s. Sedangkan untuk efisiensi H₂ minimum adalah di kuat arus 100 A tanpa katalis dengan range 0,25-0,38% pada selang waktu 28-300 s.

Penambahan arus listrik memang menghasilkan gas HHO yang lebih banyak namun justru menurunkan efisiensi gas H₂ karena semakin bertambah arus listrik semakin besar pula penggunaan energi listrik untuk melakukan proses elektrolisis.

Peningkatan katalis (KOH) semakin meningkatkan efisiensi H₂ khususnya pada kuat arus 10 A karena memiliki sifat yang sangat baik dan efisien dalam menghantarkan listrik di larutan elektrolit serta dapat menghemat energi listrik yang digunakan dalam proses elektrolisis [13].

A. Analisa biaya produksi hidrogen pada proses elektrolisis

Tabel 3 adalah hasil perhitungan biaya produksi hidrogen dari proses elektrolisis.

Mengacu tabel III, dapat diketahui bahwa biaya produksi hidrogen terendah adalah pada kuat arus 10 A dengan massa katalis 400 g dengan range Rp 72.361-Rp 87.580/kg H₂ pada selang waktu 28-221 s. Sedangkan untuk biaya produksi hidrogen terbesar yaitu di kuat arus 100 A tanpa katalis dengan range Rp 18.933.521- Rp 19.149.904/kg H₂ pada selang waktu 28-308 s.

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Proses elektrolisis yang paling baik adalah dilakukan dengan arus listrik minimal yang dalam penelitian ini sebesar 10 A karena menghasilkan efisiensi yang tinggi. Meskipun dengan variasi arus listrik dapat meningkatkan jumlah gas HHO namun peningkatan arus listrik tidak meningkatkan efisiensi gas H₂ karena pertambahan arus listrik akan semakin meningkatkan penggunaan energi listrik

B. Saran

Apabila menggunakan arus listrik yang tinggi untuk menghasilkan produk yang lebih besar sebaiknya menggunakan sumber energi terbarukan untuk pembangkitan listrik seperti solar cell.

V. KUTIPAN

- [1] N. Abas, A. Kalair, and N. Khan, "Review of fossil fuels and future energy technologies," *Futures*, vol. 69, pp. 31–49, 2015.
- [2] N. L. Panwar, S. C. Kaushik, and S. Kothari, "Role of renewable energy sources in environmental protection: A review," *Renewable and sustainable energy reviews*, vol. 15, no. 3, pp. 1513–1524, 2011.

- [3] S. Cheng and B. E. Logan, "Sustainable and efficient biohydrogen production via electrohydrogenesis," *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 104, no. 47, pp. 18871–18873, 2007.
- [4] K. Chandrasekhar, Y.-J. Lee, and D.-W. Lee, "Biohydrogen production: strategies to improve process efficiency through microbial routes," *Int J Mol Sci*, vol. 16, no. 4, pp. 8266–8293, 2015.
- [5] S. Sarkar and A. Kumar, "Large-scale biohydrogen production from bio-oil," *Bioresour Technol*, vol. 101, no. 19, pp. 7350–7361, 2010.
- [6] I. K. Kapdan and F. Kargi, "Bio-hydrogen production from waste materials," *Enzyme Microb Technol*, vol. 38, no. 5, pp. 569–582, 2006.
- [7] A. M. Fernández and U. Cano, "Alkaline Electrolysis with Skeletal Ni Catalysts," in *Electrolysis*, IntechOpen, 2012.
- [8] S. A. Grigoriev, V. N. Fateev, D. G. Bessarabov, and P. Millet, "Current status, research trends, and challenges in water electrolysis science and technology," *Int J Hydrogen Energy*, vol. 45, no. 49, pp. 26036–26058, 2020.
- [9] S. K. Mazloomi and N. Sulaiman, "Influencing factors of water electrolysis electrical efficiency," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 16, no. 6, pp. 4257–4263, 2012.
- [10] E. Marlina, S. Wahyudi, and L. Yuliaty, "Produksi Brownâ™ s Gas Hasil Elektrolisis H₂O Dengan Katalis NaHCO₃," *Jurnal Rekayasa Mesin*, vol. 4, no. 1, pp. 53–58, 2013.
- [11] A. Fauziah, E. Kurniawan, and M. Ramdhani, "Sistem catu daya penghasil air alkali dengan modul solar cell," *eProceedings of Engineering*, vol. 6, no. 1, 2019.
- [12] R. Abdurahman, R. Eliza, A. Manggala, and A. S. Ningsih, "Produksi Gas Hidrogen Berdasarkan Pengaruh Luas Penampang Terhadap Konsentrasi Larutan Elektrolit Dan Suplai Arus Dengan Metode Elektrolisis," *Jurnal Pendidikan dan Teknologi Indonesia*, vol. 1, no. 11, pp. 447–451, 2021.
- [13] R. M. Rachman, M. Margianto, and E. Marlina, "Pengaruh Presentase Koh Terhadap Produksi Brown's Gas Dalam Proses Elektrolisis Dengan Menggunakan Elektroliser Dry Cell," *Program Studi Teknik Mesin Universitas Islam Malang*, 2016.



Messiah Charity Sangian, lahir di Manado pada 19 Februari 2002. Tahun 2019, penulis memulai pendidikan di program studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Sam Ratulangi Manado dan mengambil konsentrasi minat Teknik Tenaga Listrik pada tahun 2021. Selama menjalani pendidikan, penulis mengikuti Kerja Praktek di PT. Jago Elfah Anugerah pada Januari-Maret 2022 dan tergabung dalam kepengurusan organisasi Himpunan Mahasiswa Elektro.