

THE EFFECT OF NaCl AND KOH SOLUTION VARIATIONS ON HYDROGEN PRODUCTIVITY AND CORROSIVITY IN WET HHO GENERATORS USING SS316L ELECTRODES

Akmal Tri BasunJaya¹, Bernardus Crisanto Putra Mbulu², Antonius Prisma Jalu Permana³

^{1,2,3}Program Studi Teknik Mesin-Fakultas Teknik-Universitas Widya Karya-Malang-Jawa Timur

Email: kingkemaltb35@gmail.com, chris_bernardo666@widyakarya.ac.id, antonius.prisma@widyakarya.ac.id

INFORMASI ARTIKEL

Naskah Diterima:
21 Juli 2025

Naskah Disetujui:
15 Desember 2025

Naskah Diterbitkan:
31 Desember 2025

ABSTRACT

The increasing energy demand due to population growth and industrial development has driven the search for clean and renewable alternative energy sources. One promising solution is hydrogen-based energy through water electrolysis, which produces HHO gas (a mixture of hydrogen and oxygen). The efficiency of the electrolysis process is significantly influenced by the type and concentration of the electrolyte solution used, such as NaCl and KOH, as well as the electrode material here, stainless steel SS316L. This study shows that increasing the mass of the electrolyte solution enhances hydrogen production. NaCl with a mass of 153 grams produced 1,509 ppm of hydrogen at the high-variable setting, while KOH with a mass of 147 grams produced up to 2,320 ppm. However, KOH also caused higher corrosion levels, reaching 0.117 grams in the high-variable setup, compared to NaCl at 0.038 grams. The Cl⁻ and OH⁻ ions in the electrolyte are highly reactive and contribute to electrode surface degradation. Furthermore, the electrode position affects hydrogen productivity, where closer proximity to the power source improves reaction efficiency. Therefore, the selection of electrolyte type and the optimization of the electrolysis system configuration are crucial in the development of efficient hydrogen production technology.

Keywords: *Electrolysis, Water Electrolysis, Electrode Position Variations (High and Low), NaCl and KOH Electrolyte Solutions, Stainless Steel 316L*

PENDAHULUAN

Kebutuhan energi yang terus meningkat seiring pertumbuhan populasi dan industri menuntut pengembangan sumber energi alternatif yang bersih dan terbarukan. Salah satu solusi yang kini banyak diteliti adalah energi berbasis hidrogen, terutama melalui proses elektrolisis air yang menghasilkan gas HHO (campuran gas hidrogen dan oksigen). HHO dapat dimanfaatkan sebagai bahan bakar tambahan untuk meningkatkan efisiensi pembakaran dan mengurangi emisi gas buang pada mesin pembakaran dalam [1].

Produksi hidrogen dapat menggunakan beberapa metode, antara lain *reforming* uap metana (*steam methane reforming*), gasifikasi biomassa, fotolisis air, dan elektrolisis air. Di antara metode tersebut, elektrolisis air menjadi salah satu yang paling menjanjikan karena prosesnya tidak menghasilkan emisi karbon jika menggunakan sumber listrik terbarukan, serta mampu menghasilkan hidrogen dengan kemurnian tinggi [2].

Salah satu jenis sistem elektrolisis yang populer dalam produksi gas HHO adalah *wet HHO generator*. Sistem ini bekerja dengan cara merendam seluruh bagian elektroda dalam larutan elektrolit. Dalam konfigurasi *wet cell*, elektrolit mengelilingi elektroda sepenuhnya sehingga proses pemisahan molekul air terjadi di seluruh permukaan aktif elektroda. Dibandingkan dengan sistem *dry cell* (yang memisahkan ruang elektrolit dan elektroda secara parsial), *wet HHO generator* memiliki desain yang lebih sederhana dan biaya produksi yang lebih rendah. Namun, kelemahan utamanya adalah risiko korosi yang lebih tinggi dan efisiensi yang dapat menurun jika tidak dikontrol dengan baik [3].

Dalam sistem elektrolisis, elektroda berfungsi sebagai tempat terjadinya reaksi elektrokimia, yaitu reaksi reduksi di katoda tempat terjadinya penerimaan elektron dan reaksi oksidasi di anoda tempat terjadinya pelepasan elektron. Oleh karena itu, pemilihan bahan elektroda menjadi aspek penting dalam

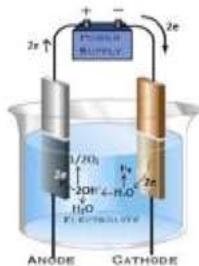
sistem elektrolisis. Berbagai jenis elektroda yang digunakan untuk proses elektrolisis air secara umum meliputi grafit, platina, nikel, titanium, dan baja tahan karat (*stainless steel*). Salah satu jenis baja tahan karat yang digunakan adalah SS316L. SS316L adalah jenis *stainless steel* yang mengandung molibdenum (Mo) dan kandungan karbon rendah (*low carbon* “L”), yang berperan dalam meningkatkan ketahanan terhadap korosi, terutama terhadap serangan ion klorida dari larutan seperti NaCl [4].

Elektrolisis

Elektrolisis adalah suatu proses di mana arus listrik digunakan untuk memecah zat elektrolit. Dalam proses ini, terjadi konversi energi listrik menjadi energi kimia melalui reaksi oksidasi-reduksi (*redoks*). Di katoda, ion bermuatan positif menerima elektron (tereduksi) dan membentuk molekul gas H₂. Sementara itu, ion bermuatan negatif bergerak menuju anoda, melepaskan elektron (teroksidasi), dan menghasilkan molekul gas O₂ [5].

Elektrolisis Air

Elektrolisis air merupakan proses pemecahan molekul air (H₂O) menjadi gas oksigen (O₂) dan gas hidrogen (H₂) dengan menggunakan arus listrik yang dialirkan melalui air. Proses ini menghasilkan oksigen dan hidrogen murni, meskipun tujuan utamanya adalah untuk memperoleh gas hidrogen. Di elektroda negatif (katoda), dua molekul air bereaksi dengan menangkap dua elektron, mengalami reduksi menjadi gas hidrogen dan ion hidroksida (OH⁻). Ion OH⁻ kemudian bergerak menuju elektroda positif (anoda), di mana elektron dilepaskan ke permukaan anoda dan kembali ke sumber listrik. Pelepasan elektron ini menyebabkan dua ion OH⁻ terurai menjadi air dan gas oksigen. Gas hidrogen yang terbentuk di katoda dan gas oksigen di anoda muncul dalam bentuk gelembung-gelembung kecil pada permukaan masing-masing elektroda sebagai hasil dari proses elektrolisis [5].



Gambar 1. Elektrolisis Air [1]

Stainless Steel 316L

Stainless steel 316L merupakan baja paduan yang mengandung sedikitnya 11,5%

krom. Tingginya kadar nikel dan molibdenum pada jenis ini membuatnya memiliki ketahanan korosi yang lebih unggul dibandingkan tipe 304, terutama terhadap korosi celah dan korosi *pitting* di lingkungan yang mengandung klorida. Selain itu, 316L juga menawarkan kekuatan tarik, ketahanan terhadap deformasi akibat panas (*creep*), serta ketahanan pecah pada suhu tinggi yang sangat baik. Material ini memiliki sifat formabilitas dan kemampuan pengelasan yang sangat baik. Karena memiliki kandungan karbon yang lebih rendah dibandingkan tipe 316, 316L lebih tahan terhadap kepekaan, sehingga sering digunakan pada komponen yang mengalami proses pengelasan intensif. [4].

Hidrogen

Senyawa ionik hidrogen dapat bermuatan positif (kation) atau bermuatan negatif (*anion*). Hidrogen dapat membentuk senyawa dengan sebagian besar unsur dan dapat hadir dalam air. Hidrogen sangat penting dalam reaksi asam basa banyak diantaranya reaksi ini melibatkan pertukaran proton antar molekul terlarut [6].

Korosi

Korosi adalah proses degradasi logam yang terjadi akibat interaksi elektrokimia antara logam dan lingkungannya. Umumnya, proses ini ditandai dengan hilangnya material logam dalam bentuk ion dari permukaan yang terpapar. Korosi dapat muncul dalam berbagai bentuk, mulai dari korosi merata di seluruh permukaan logam hingga korosi lokal yang hanya terjadi pada area tertentu. Secara keseluruhan, korosi menyebabkan penurunan kualitas dan integritas struktur logam seiring waktu akibat reaksi kimia atau elektrokimia dengan media sekitarnya [7].

Metode Weight Loss

Metode kehilangan berat (*weight loss method*) dilakukan dengan cara membandingkan berat awal spesimen uji dengan berat setelah terpapar lingkungan korosif. Selisih antara kedua berat tersebut mencerminkan jumlah material yang hilang akibat korosi. Nilai kehilangan ini kemudian digunakan dalam perhitungan untuk menentukan laju korosi. Jika metode ini diterapkan dalam jangka waktu yang cukup panjang dan berkesinambungan, hasilnya dapat menjadi indikator tingkat kekorosifan lingkungan tempat spesimen diletakkan. Selain itu, data tersebut juga dapat digunakan sebagai dasar dalam menentukan perlakuan atau tindakan perlindungan yang sesuai terhadap lingkungan tersebut [8].

Massa Molar

Menggunakan larutan dengan konsentrasi 0,5 molaritas dalam proses elektrolisis telah terbukti efektif untuk berbagai jenis elektrolisis.

Variasi massa elektrolit yang terlarut dalam air memengaruhi produksi hidrogen pada generator HHO tipe wet cell, sehingga diperlukan perhitungan yang tepat untuk menentukan massa elektrolit yang optimal.

Untuk mencari mol dapat menggunakan rumus[5]:

$$n = M \cdot V \quad (1)$$

Keterangan:

n = Jumlah mol (mol/liter)

M = Molaritas mol (mol)

V = Volume larutan (liter)

Untuk mencari jumlah variabel perbedaan larutan dapat menggunakan rumus:

$$m = n \cdot M_r \quad (2)$$

Keterangan:

M_r = Massa relatif suatu zat (gr/mol)

m = Massa suatu zat (gram)

n = Jumlah mol

Kalibrasi Sensor MQ-8

Salah satu perangkat elektronik yang memiliki sensitivitas tinggi terhadap gas hidrogen dan dapat mendeteksi potensi kebocoran pada gas tersebut. Sensor ini juga memiliki kemampuan mendeteksi alkohol, hidrogen, dan karbon monoksida. Sensor MQ-8 dapat mengukur konsentrasi gas sampai dengan 100-10000 ppm. Sebelum digunakan sensor ini harus melewati proses kalibrasi. Kalibrasi adalah proses penyesuaian data dengan variabel yang ada secara harfiah.

Kalibrasi mengambil data hidrogen dengan cara menyuntikan gas hidrogen ke wadah yang berisi sensor MQ-8 tersebut memastikan keabsahan antara data dan hasil yang sesungguhnya. Pengukuran gas hidrogen dilakukan dengan variasi volume hidrogen 0,5 ml, 1 ml, 2 ml, 3 ml, 4 ml, 5 ml. Hasil pengukuran pada setiap variasi volume gas hidrogen dilakukan setiap 100 detik dengan 3 kali pengulangan, kemudian mencari rata-rata dari pengulangan tersebut. Kemudian hasil dari sensor ini akan dibandingkan dengan perhitungan teoritis [5].

$$V_{\text{Wadah}} : P \times L \times t$$

ρ_{hidrogen} (rho hidrogen) : 89,99 mg/ liter

$M_r h_2$ (Massa Relatif Hidrogen) : 2,016 gram/mol

Faktor koreksi:

FK (SATP) : 24,45 liter/mol (Pada temperatur 25° C dan tekanan 1 atm)

FK (STP) : 22,4 liter/mol (Pada temperatur 0° C dan tekanan 1 atm)

Kalibrasi ini menggunakan FK (SATP) *Standard Ambient Temperature and Pressure*) suhunya mendekati suhu ruangan yang biasa kita alami.

$$\text{ppm di udara} = \frac{v_{\text{gas}} (l) \times \rho_{\text{hidrogen}} \left(\frac{\text{mg}}{l}\right)}{V_{\text{wadah}} (m^3)} \quad (3)$$

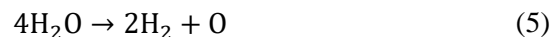
$$\text{ppm hidrogen} = \frac{FP \times \text{ppm di udara (ppm)}}{Mr_{h_2}} \quad (4)$$

Reaksi Stoikiometri Pada Proses Elektrolisis

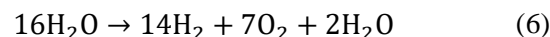
Stoikiometri (*stoichiometry*) adalah ilmu yang mempelajari perhitungan kuantitatif terhadap produk dalam suatu reaksi kimia. Metode yang paling efektif adalah dengan menyatakan jumlah zat yang diketahui dan yang belum diketahui dalam satuan mol yang kemudian dapat dikonversi ke satuan lain jika diperlukan. Stoikiometri reaksi adalah penentuan perbandingan massa unsur-unsur dalam senyawa dalam pembentukan senyawanya [9].

Aquadest/Air

Reaksi Umum Elektrolisis Air

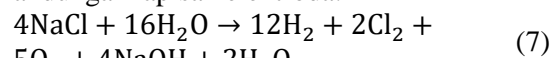


Reaksi Stoikiometri Air

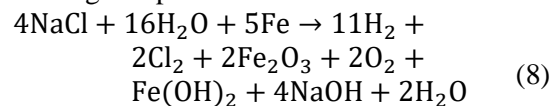


Larutan NaCl

Reaksi stoikiometri tidak melibatkan kandungan lapisan elektroda:

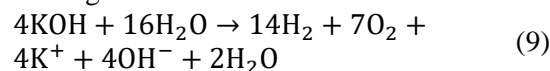


Reaksi stoikiometri melibatkan kandungan lapisan elektroda:

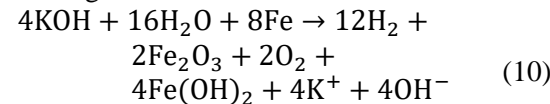


Larutan KOH

Reaksi Stoikiometri tidak melibatkan kandungan elektroda ikut bereaksi:



Reaksi stoikiometri melibatkan kandungan elektroda ikut bereaksi:



METODE PENELITIAN

Dalam penelitian ini digunakan Penelitian eksperimen dengan pendekatan kuantitatif, karena menguji pengaruh variabel tertentu terhadap mesin dan menghasilkan data numerik.

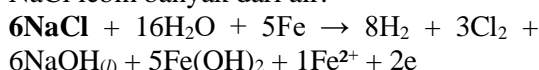
Variabel Penelitian

1. Variabel Bebas: NaCl 53gram, 102gram, 153gram, KOH 49gram, 98gram, 147gram serta tinggi dan rendahnya letak elektroda
2. Variabel Terikat: Aquadest 1,75liter dan Elektroda SS316L.
3. Variabel Kontrol: Arus listrik (DC) 12V 10A dan Waktu penelitian selama 60 menit.

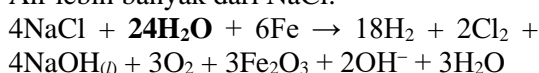
Deskripsi Penelitian

Mengacu pada persamaan (8) tentang reaksi stokiometri NaCl, jika NaCl lebih banyak dari air dan air lebih banyak dari NaCl, maka persamaannya dapat ditulis sebagai berikut [5]:

- a. NaCl lebih banyak dari air:

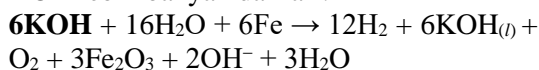


- b. Air lebih banyak dari NaCl:

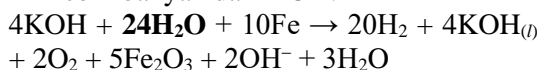


Dari persamaan (a) dan (3b) diatas bisa dilihat bahwa perbandingan air lebih banyak dari NaCl, menghasilkan gas hidrogen (H_2) lebih banyak, namun korosi (Fe_2O_3) yang dihasilkan juga lebih besar, sedangkan untuk perbandingan NaCl lebih banyak dari air, menghasilkan gas hidrogen lebih sedikit (H_2) dikarenakan banyaknya endapan [$\text{Fe}(\text{OH})_2$] yang terbentuk. Hal ini juga berlaku sama terhadap persamaan reaksi stokiometri persamaan (10).

- c. KOH lebih banyak dari air:

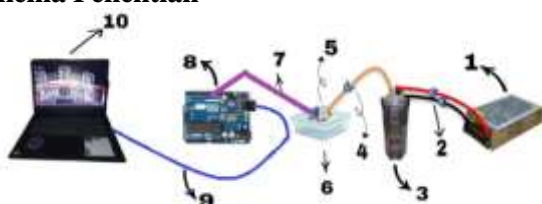


- d. Air lebih banyak dari KOH:



Dari persamaan (c) dan (d) di atas bisa dilihat bahwa perbandingan air lebih banyak dari KOH, menghasilkan gas hidrogen (H_2) lebih banyak, namun korosi (Fe_2O_3) yang dihasilkan juga lebih besar. Jika kedua persamaan tersebut dibandingkan terhadap reaksi stokiometri persamaan (10), dimana ketika reaktan H_2O lebih banyak maka gas hidrogen (H_2) dan korosi yang dihasilkan juga lebih banyak, namun ketika reaktan KOH yang lebih banyak, maka gas hidrogen (H_2) yang dihasilkan sama tetapi korosi (Fe_2O_3) yang dihasilkan lebih banyak.

Skema Penelitian



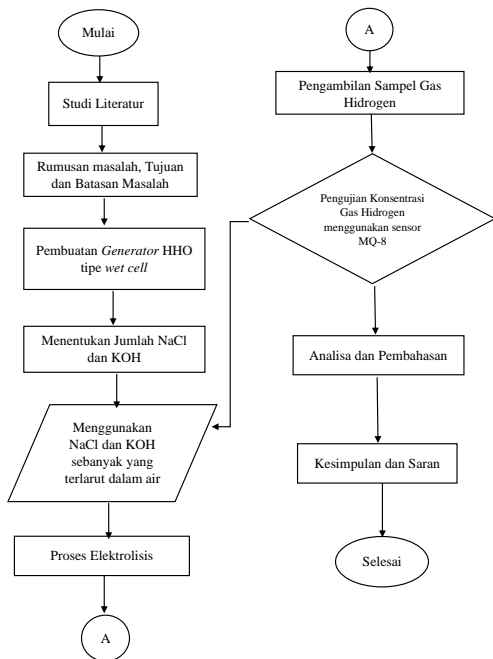
Gambar 2. Skema Penelitian

Keterangan gambar:

1. Power supply 12 V
2. Kabel plus (+) dan minus (-)
3. Generator HHO tipe wet cell
4. Selang PVC diameter 4 mm
5. Sensor MQ-8
6. Kotak sensor bermerek Lion star (560 ml)
7. Dupont cable 20 cm Breadboard
8. Arduino uno R3
9. Kabel USB
10. Laptop merk Lenovo Ideapad 130, Processor Intel core i3 dan RAM 8 GB

Proses elektrolisis diawali dengan menyiapkan peralatan dan bahan yang diperlukan. Berdasarkan Gambar 2, langkah pertama (1) menunjukkan penggunaan *power supply* 12V yang memiliki dua kabel *output*, yaitu kabel positif dan negatif, seperti yang terlihat pada gambar 8 bagian (2). Kabel-kabel ini kemudian dihubungkan ke katoda (negatif) dan anoda (positif) pada generator HHO tipe *wet cell*. Pada bagian (3) gambar 8, terjadi reaksi elektrolisis di dalam generator HHO *wet cell*, yang menghasilkan gas hidrogen (H_2) setelah proses berlangsung. Generator ini memiliki keluaran berupa selang gas, sebagaimana diperlihatkan pada gambar 8 bagian (4), yang berfungsi sebagai jalur untuk mengalirkan gas hidrogen menuju kotak sensor di gambar 8 bagian (6). Gas hidrogen yang dihasilkan akan mengisi kotak sensor, dan konsentrasi gas tersebut dapat dideteksi menggunakan sensor MQ-8 yang terpasang di dalam kotak, sebagaimana ditunjukkan pada gambar 8 bagian (5). Agar sensor MQ-8 dapat berfungsi, diperlukan papan mikrokontroler Arduino Uno, yang terlihat pada gambar 8 bagian (8). Arduino Uno bertugas untuk mengirimkan perintah (sintaks) kepada sensor MQ-8, sehingga sensor dapat membaca konsentrasi gas hidrogen. Selain itu, Arduino juga menerima data dari sensor dan meneruskannya ke laptop. Laptop, yang terlihat pada gambar 8 bagian (10), berfungsi untuk membuat sintaks Arduino Uno sekaligus menjadi media penerima data dari sensor MQ-8. Untuk menghubungkan Arduino Uno dan sensor MQ-8 digunakan kabel khusus jenis *male to female Dupont*, seperti pada gambar 8 bagian (7), sementara koneksi antara Arduino Uno dan laptop dilakukan melalui kabel USB, yang ditunjukkan pada gambar 8 bagian (9), agar keduanya tetap terhubung.

Diagram Alir Penelitian



Gambar 3. Diagram Alir Penelitian

Proses Pengambilan Data

Proses pengambilan data dimulai dengan memotong plat *stainless steel* 316L berbentuk persegi panjang dengan ukuran panjang 7 cm dan lebar 4 cm. Plat ini dilengkapi dengan dua lubang untuk *studbolt*, yaitu lubang A berdiameter 6 mm dan lubang B berdiameter 8,5 mm. Sebanyak 14 elektroda diperlukan dan dirakit secara memanjang sesuai dengan wadah bejana elektrolisis. Setelah pemotongan, plat elektroda disusun memanjang dan dipasang baut, ring, serta *rubber gasket* pada setiap lubang B yang berdiameter 8,5 mm. Selanjutnya, *power supply* dihubungkan ke listrik utama, dengan *output* positif dan negatif disambungkan ke anoda dan katoda sesuai polaritasnya. Setelah sistem tersambung, proses elektrolisis dimulai, menghasilkan gelembung gas hidrogen. Gas hidrogen yang terbentuk dialirkan melalui selang menuju kotak sensor untuk mengukur konsentrasinya. Mikrokontroler Arduino Uno digunakan untuk mengontrol sensor MQ-8, yang membaca kadar hidrogen dalam satuan ppm (*parts per million*). Data yang diperoleh kemudian dicatat menggunakan aplikasi *Hercules.exe* pada laptop. Eksperimen dilakukan dengan menggunakan katalis *aquadest*, NaCl, dan KOH selama satu jam, untuk membandingkan produksi hidrogen. Setelah elektrolisis selesai, sisa reaksi berupa endapan terbentuk. Endapan ini berwarna hijau saat masih terlarut dalam air dan berubah menjadi merah-oranye setelah dikeringkan. Selain itu,

korosi juga terjadi akibat reaksi elektrolisis dengan NaCl dan KOH. Tingkat korosi dianalisis dengan membongkar elektroda satu per satu dan menimbang beratnya sebelum serta setelah elektrolisis. Korosi ditunjukkan dengan adanya penurunan berat elektroda akibat proses elektrolisis.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kalibrasi sensor MQ-8 dilakukan untuk membuktikan kebenaran data yang terbaca pada sensor tersebut. Mengkalibrasi sensor gas hidrogen MQ-8 dilakukan dengan cara mengukur gas hidrogen secara langsung, dari pengukuran gas hidrogen ini kemudian hasilnya dibandingkan dengan perhitungan teoritisnya [5].

$$V_{\text{wadah}} : 12,3 \times 12,3 \times 12,3 = 862.353 \text{ cm}^3$$

$$: 0.000862353 \text{ m}^3$$

$$\rho_{\text{hidrogen}} : 89,99 \text{ mg/ liter}$$

$$M_r h_2 \text{ (Massa Relative Hidrogen)} : 2,016 \text{ gram/mol}$$

$$\text{Faktor Koreksi (SATP)} : 24,45 \text{ liter/mol}$$

Variasi volume hidrogen murni: 0,0005 liter; 0,001 liter; 0,002 liter; 0,003 liter; 0,004 liter; 0,005 liter.

$$\text{Contoh : } 0,5 \text{ ml} = 0,0005 \text{ liter}$$

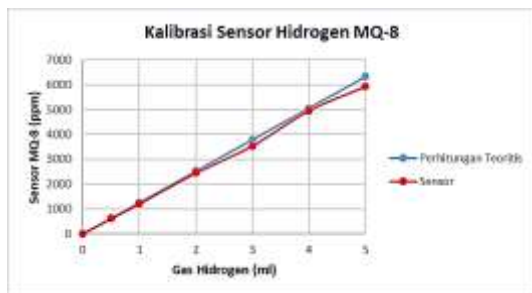
$$\text{ppm di udara} = \frac{0,0005 \text{ (l)} \times \rho_{\text{hidrogen}} \left(\frac{\text{mg}}{\text{l}}\right)}{0.000862353 \text{ (m}^3\text{)}} = 52,1770 \text{ (mg/m}^3\text{)}$$

$$\text{ppm hidrogen} = \frac{24,45 \times 52,1770 \text{ (ppm)}}{2,016} = 632.80 \text{ ppm}$$

Tabel 1. Perbandingan Hasil Hitungan Teoritis Dan Hasil Sensor MQ-8

Volume Hidrogen	Perhitungan Teoritis	Sensor	Presentase (S/T)*100
0	0	0	0
0,5	632,80	614,48	97,11
1	1265,60	1210,36	95,64
2	2531,21	2450,15	96,80
3	3796,81	3540,77	93,26
4	5062,41	4955,89	97,90
5	6328,02	5924,78	93,63
		Rata-rata	95,72

Berdasarkan Tabel 1. selanjutnya digambarkan dalam bentuk grafik yang membandingkan hasil perhitungan teoritis dengan data dari sensor, seperti pada Gambar 4. di bawah ini:



Gambar 4. Kalibrasi Sensor MQ-8

Berdasarkan Gambar 4. di atas terlihat bahwa antara perhitungan teoritis dan hasil pembacaan sensor tidak terdapat penurunan yang signifikan pada rentang konsentrasi hidrogen 0 – 6000 ppm. Nilai rata-rata kesesuaian antara keduanya mencapai lebih dari 95%, sehingga sensor MQ-8 dinilai layak digunakan dalam penelitian ini.

Pengolahan Data dan Pembahasan

Untuk menentukan jumlah zat pereaksi yang dibutuhkan, diperlukan perhitungan yang cermat guna mencegah terjadinya korosi berlebih pada pelat elektroda. Berdasarkan data kalibrasi sensor hidrogen MQ-8 yang ditampilkan dalam grafik di atas, serta perhitungan teoritis yang dilakukan, maka jumlah pereaksi berupa NaCl dan KOH dapat ditentukan melalui langkah-langkah perhitungan sebagai berikut:

Diketahui:

- Massa molar NaCl menurut tabel periodik:

Natrium (Na+) = 22,99 gram/mol
 Klorin (Cl-) = 35,45 gram/mol
 Massa molar NaCl = 22,99 gram/mol + 35,45 gram/mol
 = 58,44 gram/mol

- Massa molar KOH menurut tabel periodik:

Kalium (K+) = 39,10 gram/mol
 Oksigen (O-) = 16,00 gram/mol
 Hidrogen (H-) = 1,01 gram/mol
 Massa molar KOH = 39,10 gram/mol + 16,00 gram/mol + 1,01 gram/mol
 = 56,11 gram/mol

Air = 1,5 liter

M = Molaritas (mol/liter) 0,5 mol, 1 mol, 1,5 mol

V = Volume larutan (liter) 1,75 liter

Ditanya:

n = jumlah mol?

Jawab:

n : 0,5 = M . V
 = 0,5 mol/liter . 1,75 liter
 = 0,875 mol

n : 1 = M . V
 = 1 mol/liter . 1,75 liter
 = 1,75 mol

n : 1,5 = M . V
 = 1,5 mol/liter . 1,75 liter
 = 2,62 mol

Molaritas telah ditetapkan sebagai dasar perbandingan untuk setiap variasi jumlah larutan, yaitu 0,5 mol, 1 mol, dan 1,5 mol. Molaritas ini dihitung dalam satuan mol per liter, yang selanjutnya digunakan untuk menentukan massa relatif dari masing-masing zat. Berdasarkan massa relatif tersebut, akan dihitung jumlah zat pereaksi yang dibutuhkan untuk tiga kali proses elektrolisis.

Tabel 2. Massa Molar NaCl

NaCl	
Molaritas	n (jumlah mol) x M (massa molar suatu zat)
0,5	51,135 gram
1	102,27 gram
1,5	153,11 gram

Tabel 3. Massa Molar KOH

KOH	
Molaritas	n (jumlah mol) x M (massa molar suatu zat)
0,5	49,09 gram
1	98,19 gram
1,5	147 gram

Dengan demikian, diperoleh massa masing-masing zat pereaksi yang terlarut dalam air pada setiap percobaan elektrolisis. Untuk elektrolisis dengan larutan NaCl, massa zat yang digunakan berturut-turut adalah 51,135 gram pada percobaan pertama, 102,27 gram pada percobaan kedua, dan 153,11 gram pada percobaan ketiga. Sementara itu, untuk elektrolisis menggunakan larutan KOH, massa zat pereaksi yang digunakan adalah 49,09 gram pada percobaan pertama, 98,19 gram pada percobaan kedua, dan 147 gram pada percobaan ketiga. Seluruh data massa tersebut selanjutnya digunakan sebagai variabel dalam proses produksi gas hidrogen menggunakan generator HHO tipe wet cell. Setiap variasi massa diuji melalui tiga kali percobaan dengan durasi masing-masing selama satu jam.

1. Korosi

Korosi terjadi akibat terjadinya oksidasi berlebih pada permukaan stainless steel menimbulkan munculnya (Fe²⁺+2e), yang disebabkan oleh kereaktifan ion-ion dalam masing-masing larutan elektrolit seperti Cl dan OH dari KOH yang sangat reaktif. Hal ini menyebabkan terbentuknya senyawa Fe₂O₃ (karat) pada permukaan elektroda, yang menjadi tanda terjadinya korosi. Pada larutan aquadest, korosi yang terjadi relatif kecil karena aquadest tidak mengandung ion-ion reaktif yang dapat

mempercepat oksidasi pada permukaan *stainless steel*.

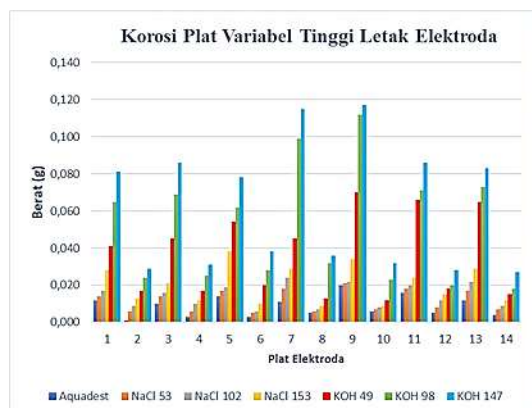
Korosi dapat diketahui melalui penurunan massa elektroda *stainless steel* yang di ukur dengan menggunakan metode *weight loss*, yaitu menimbang berat elektroda sebelum dan sesudah proses elektrolisis. Penurunan berat tersebut menjadi indikator tingkat korosi yang terjadi. Tabel berikut menyajikan data hasil korosifitas pada masing-masing variabel setiap jenis larutan yang digunakan.

Tabel 4. Hasil Korosi Variabel Tinggi Letak Elektroda

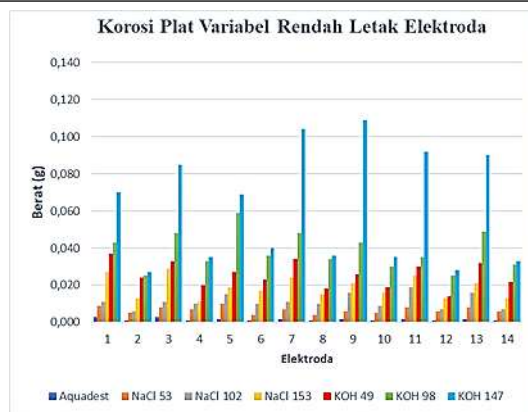
No Plat	Data Korosi Variabel Tinggi Letak Elektroda						
	Aquades	NaCl 53	NaCl 102	NaCl 153	KOH 49	KOH 98	KOH 147
1	0,012	0,014	0,017	0,028	0,041	0,065	0,081
2	0,001	0,006	0,009	0,013	0,017	0,024	0,029
3	0,010	0,014	0,016	0,021	0,045	0,069	0,086
4	0,003	0,006	0,010	0,012	0,017	0,025	0,031
5	0,014	0,017	0,019	0,038	0,054	0,062	0,078
6	0,003	0,005	0,006	0,010	0,020	0,028	0,038
7	0,011	0,018	0,024	0,029	0,045	0,099	0,115
8	0,005	0,006	0,007	0,009	0,013	0,032	0,036
9	0,020	0,021	0,022	0,034	0,070	0,112	0,117
10	0,006	0,007	0,008	0,009	0,012	0,023	0,032
11	0,016	0,018	0,020	0,024	0,066	0,071	0,086
12	0,005	0,008	0,012	0,015	0,018	0,020	0,028
13	0,012	0,017	0,022	0,029	0,065	0,073	0,083
14	0,004	0,007	0,009	0,012	0,015	0,018	0,027

Tabel 5. Hasil Korosi Variabel Rendah Letak Elektroda

No Plat	Data Korosi Variabel Rendah Letak Elektroda						
	Aquades	NaCl 53	NaCl 102	NaCl 153	KOH 49	KOH 98	KOH 147
1	0,003	0,009	0,011	0,027	0,037	0,043	0,070
2	0,001	0,005	0,006	0,013	0,024	0,025	0,027
3	0,003	0,008	0,011	0,029	0,033	0,048	0,085
4	0,001	0,007	0,010	0,011	0,020	0,033	0,035
5	0,002	0,010	0,015	0,019	0,027	0,059	0,069
6	0,001	0,004	0,010	0,017	0,023	0,036	0,040
7	0,002	0,007	0,011	0,024	0,034	0,048	0,104
8	0,001	0,004	0,010	0,015	0,018	0,034	0,036
9	0,002	0,006	0,016	0,021	0,026	0,043	0,109
10	0,001	0,005	0,009	0,016	0,019	0,030	0,035
11	0,002	0,008	0,019	0,025	0,030	0,049	0,092
12	0,001	0,006	0,007	0,013	0,014	0,029	0,028
13	0,002	0,008	0,016	0,021	0,032	0,049	0,090
14	0,001	0,006	0,007	0,013	0,022	0,031	0,033



Gambar 5. Grafik Korosi Plat Variasi Tinggi Letak Elektroda



Gambar 6. Grafik Korosi Plat Variasi Rendah Letak Elektroda

Berdasarkan Gambar 5. dan 6. dapat diamati bahwa tingkat korosi tertinggi pada elektroda variabel tinggi dan variabel rendah terjadi pada larutan KOH 147 gram dengan hasil korosi terbesar 0,117 gram pada variabel elektroda tinggi dan 0,109 gram pada variabel rendah, sementara itu tingkat korosi terendah tercatat pada larutan *aquadest* dengan hasil korosi 0,001 gram pada kedua variabel elektroda. Penyebab terjadi nya korosi tinggi pada KOH adalah kereaktifan dari ion OH⁻ dari KOH dan penyebab terjadinya korosi rendah pada *aquadest* karena *aquadest* tidak mengandung ion-ion reaktif. Perbedaan antara ion OH⁻ dari air dengan OH⁻ dari KOH terletak pada sumber dan konsentrasinya, di mana OH⁻ dari air berasal dari ionisasi sendiri (autoprotolisis) dengan jumlah sangat sedikit sehingga larutannya bersifat netral, sedangkan OH⁻ dari KOH berasal dari disosiasi basa kuat dengan jumlah banyak sehingga larutannya bersifat basa kuat.

Korosi lebih banyak terjadi di anoda saat elektrolisis air karena pada anoda berlangsung reaksi oksidasi yang menghasilkan oksigen reaktif, sehingga menciptakan lingkungan asam yang mempercepat pelarutan logam elektroda. Korosi pada elektroda dapat memengaruhi efisiensi produksi gas hidrogen. Jika elektroda terus digunakan dalam kondisi tersebut, tingkat korosi akan semakin meningkat, yang pada akhirnya akan menurunkan efisiensi dan jumlah hidrogen yang dihasilkan akibat degradasi pada permukaan elektroda.

Penyebab terjadinya korosi pada bagian tengah sampai bawah elektroda karena arus listik yang besar bagian tengah ke bawah, hal itu dapat dilihat dari banyaknya gelembung yang tercipta pada bagian bawah. Korosi yang terjadi selama proses elektrolisis menghasilkan kehilangan massa pada elektroda logam. Untuk menilai kecepatan terjadinya korosi secara kuantitatif,

dilakukan pengukuran kecepatan korosi yang dihitung dari selisih massa elektroda sesudah elektrolisis dalam satuan gram/menit.

2. Endapan

Berdasarkan uraian pada deskripsi penelitian, dijelaskan bahwa larutan elektrolit yang telah mengalami proses elektrolisis akan membentuk zat baru. Hal ini disebabkan karena lapisan elektroda mengalami reaksi, sehingga larutan NaCl dan KOH yang terlarut dalam air akan menghasilkan senyawa baru berupa molekul Fe(OH)₂. Molekul Fe(OH)₂ terbentuk akibat proses oksidasi pada permukaan *stainless steel* yang digunakan sebagai elektroda. Ketika masih berada dalam larutan, Fe(OH)₂ tampak berwarna kehijauan, namun setelah dipisahkan dari air, warnanya berubah menjadi merah bata. Kehadiran Fe(OH)₂ dapat menghambat produksi gas hidrogen karena endapan yang terbentuk menghalangi keluarnya gas dari larutan. Tidak semua larutan menimbulkan endapan, misalnya aquadest tidak menghasilkan endapan, sedangkan KOH menghasilkan endapan dalam jumlah kecil jika dibandingkan dengan NaCl. Data mengenai endapan ini juga penting untuk menganalisis proses produksi hidrogen, yang diperoleh dengan menimbang massa endapan setelah proses elektrolisis. Tabel 6 dan 7 menyajikan informasi mengenai berat endapan yang terbentuk setelah proses berlangsung.

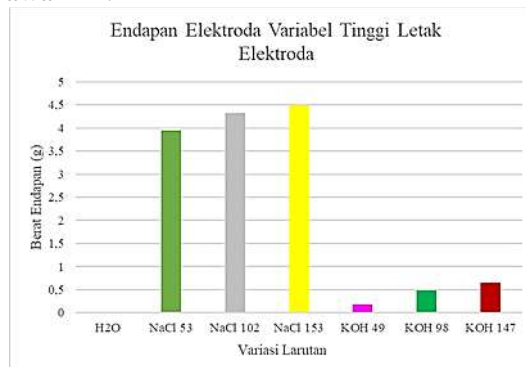
Tabel 6. Hasil Endapan Variabel Tinggi Letak Elektroda

Variasi massa elektrolit	Endapan Variabel Tinggi Letak Elektroda
	Gram
H2O	0
NaCl 53	3,957
NaCl 102	4,329666667
NaCl 153	4,484666667
KOH 49	0,183333333
KOH 98	0,485666667
KOH 147	0,646666667

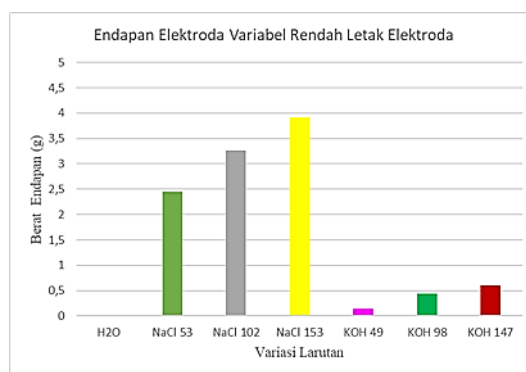
Tabel 7. Hasil Endapan Variabel Rendah Letak Elektroda

Variasi massa elektrolit	Endapan Variabel Rendah Letak Elektroda
	Gram
H2O	0
NaCl 53	2,45
NaCl 102	3,261333333
NaCl 153	3,918
KOH 49	0,137666667
KOH 98	0,442333333
KOH 147	0,609333333

Data pada Tabel 6 dan 7 menunjukkan hasil endapan yang dihasilkan. Hasil tersebut kemudian divisualisasikan dalam bentuk grafik yang ditampilkan pada Gambar 7. dan 8. di bawah ini.



Gambar 7. Grafik Korosi Plat Variasi Tinggi Letak Elektroda



Gambar 8. Grafik Korosi Plat Variasi Rendah Letak Elektroda

Gambar 7. dan 8. menampilkan grafik berat endapan yang terbentuk setelah proses elektrolisis. Berdasarkan grafik tersebut, zat pereaksi NaCl dengan massa 153gram menghasilkan endapan terbanyak. Sementara itu, KOH juga menghasilkan endapan, namun jumlahnya lebih sedikit dibandingkan dengan NaCl. Endapan pada variabel tinggi letak elektroda lebih banyak dari variabel rendah letak elektroda karena cepat arus listrik selama proses elektrolisis yang menyebabkan cepat terjadinya endapan. Adapun *aquadest* tidak menunjukkan adanya pembentukan endapan, sebagaimana terlihat pada grafik.

3. Hidrogen

Produksi gas hidrogen diukur menggunakan sensor MQ-8 dengan membandingkan antara *aquadest* dan berbagai variasi massa larutan NaCl serta KOH. Perbandingan ini bertujuan untuk mengevaluasi efektivitas masing-masing larutan dalam menghasilkan hidrogen pada proses elektrolisis tipe *wet cell*. Data hasil perbandingan antara *aquadest*, NaCl, dan KOH selama durasi satu

jam disajikan pada Tabel 8 dan 9 berikut.

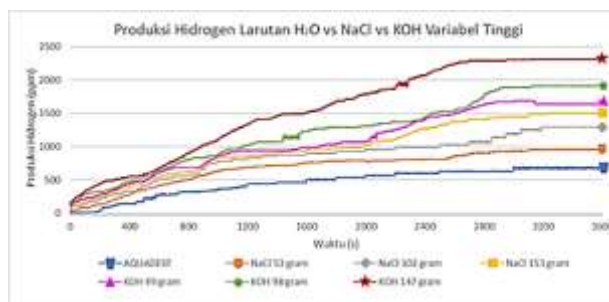
Tabel 8. Hasil Produksi Hidrogen Variabel Tinggi

Waktu (s)	Konsentrasi Hidrogen Variabel Tinggi						
	Aquades	NaCl 53	NaCl 102	NaCl 153	KOH 49	KOH 98	KOH 147
1	0	3,333	25,667	53,667	104,333	123,667	152,333
2	3,333	30,667	59	103,667	114	135,333	157,667
3	3,333	42,333	60,667	108	113,667	131,667	156,667
4	2,333	27,333	64,667	102,667	109	132	166,333
5	2,667	24,667	67	113,333	112	127,333	167,333
6	2,667	45	67,667	114,667	116,333	123,667	160
7	3	28	70,333	114,333	107,333	128	163
8	2,333	43,667	63	109,333	113	125,667	168
9	4	17,333	65,333	107	112	130	163,333
10	2	44	78	117,667	113	136	154,333
----	----	----	----	----	----	----	----
3600	671,333	953,333	1295,333	1507	1688	1905,667	2314,333

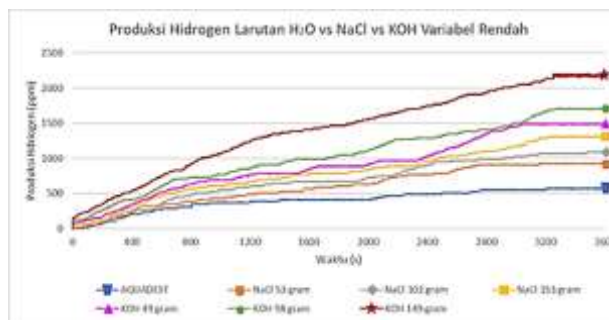
Tabel 9. Hasil Produksi Hidrogen Variabel Rendah

Waktu (s)	Konsentrasi Hidrogen Variabel Rendah						
	Aquades	NaCl 53	NaCl 102	NaCl 153	KOH 49	KOH 98	KOH 147
1	0	10,333	34,667	61,667	78	111,333	153,333
2	6,333	16,667	44,333	63,333	74,333	113,667	151,333
3	5	15,333	46,333	63,667	77	106	146
4	3,667	15,333	46	63,333	74,667	109	155,667
5	3,333	15,333	44,333	66	73,333	114,333	153
6	5	12,667	46,667	63,667	74,333	109,333	153,667
7	4,667	14	46,667	63,333	74	117,333	142,333
8	2,667	16,667	48	66	73	117,667	153,667
9	4	15	43	63,667	76,333	111,333	151,333
10	7,333	16,667	44	68,667	75,333	103,667	150,667
----	----	----	----	----	----	----	----
3600	571,333	930,333	1088,667	1310,333	1488,333	1714	2188,667

Data pada Tabel 8. dan 9. menunjukkan hasil percobaan produksi hidrogen yang dilakukan selama satu jam. Hasil tersebut kemudian divisualisasikan dalam bentuk grafik yang ditampilkan pada Gambar 9. dan 10. di bawah ini.



Gambar 9. Grafik Hidrogen Aquadest vs NaCl vs KOH Variasi Tinggi



Gambar 10. Grafik Hidrogen Aquadest vs NaCl vs KOH Variasi Rendah

Hasil pengujian pada kondisi variabel tinggi, produksi gas hidrogen menunjukkan peningkatan seiring dengan bertambahnya waktu. Larutan *aquadest* tanpa penambahan elektrolit menghasilkan jumlah hidrogen paling rendah 703 ppm. Penambahan elektrolit NaCl

dengan variasi massa tertinggi 153 gram menunjukkan peningkatan produksi hidrogen dari *aquadest* sebesar 1.509 ppm, meskipun nilai yang dihasilkan masih lebih rendah dibandingkan larutan dengan elektrolit KOH. Larutan KOH, khususnya dengan massa tertinggi 147 gram menunjukkan produksi hidrogen paling tinggi di antara seluruh variasi yang dapat menghasilkan hidrogen sebesar 2.320 ppm. Dengan ini mengindikasikan bahwa KOH lebih efektif sebagai elektrolit dalam sistem elektrolisis air.

Variabel rendah, kecenderungan peningkatan produksi hidrogen masih terlihat, namun dengan laju yang lebih landai daripada variabel tinggi letak elektroda. Efektivitas KOH tetap lebih tinggi dibandingkan NaCl maupun *aquadest*, KOH dengan massa tertingi 147gram dapat menghasilkan hidrogen 2.213 ppm, sedangkan NaCl dengan massa tertinggi 153gram hanya menghasilkan hidrogen sebesar 1.319 ppm dan *aquadest* menjadi yang terkecil dengan produksi hidrogen hanya 583 ppm. Dalam gambar 4.8 dan 4.9, urutan efisiensi larutan tetap konsisten, yaitu KOH > NaCl > *aquadest*.

Secara komparatif, perbandingan antara dua variabel, yaitu variabel rendah dan variabel tinggi, menunjukkan bahwa terdapat pengaruh yang nyata terhadap produksi gas hidrogen pada proses elektrolisis. Variabel yang dimaksud meliputi letak elektroda terhadap sumber listrik yang diberikan selama proses elektrolisis berlangsung. Perbedaan antara kedua variabel menunjukkan bahwa efektivitas elektrolisis sangat dipengaruhi oleh arus listrik. Pada kondisi variabel tinggi, aliran arus listrik memberikan dampak signifikan terhadap produksi hidrogen karena dengan semakin dekatnya letak elektroda terhadap sumber listrik resistensi arus listrik menjadi rendah maka arus listrik yang masuk ke sel lebih banyak digunakan untuk reaksi elektrokimia. *Aquadest* menunjukkan peningkatan produksi yang sangat kecil dari 583,6 ppm pada variabel rendah menjadi 703,3 ppm pada variabel tinggi. Hal ini disebabkan oleh ketidakmampuan *aquadest* menghantarkan listrik secara efisien, dengan tidak adanya ion reaktif yang terlarut. NaCl mengalami peningkatan produksi dari 1.319 ppm pada variabel rendah menjadi 1.509 ppm pada variabel tinggi. Meskipun lebih baik dibanding *aquadest*, efek peningkatan masih terbatas karena keberadaan ion Cl⁻ dalam larutan dapat menimbulkan reaksi samping seperti evolusi gas klorin (Cl₂) di anoda, yang tidak berkontribusi pada produksi hidrogen, serta potensi

menimbulkan korosi dan endapan pada elektroda, sedangkan KOH mengalami peningkatan yang signifikan dari 2.213 ppm pada variabel rendah menjadi lebih dari 2.320 ppm pada variabel tinggi. Ion OH⁻ dalam larutan KOH sangat reaktif dalam mendukung reaksi reduksi di katoda.

4. Kelebihan dan Kekurangan Larutan

Setiap jenis larutan memiliki karakteristik tersendiri yang memberikan keunggulan maupun keterbatasan selama proses elektrolisis berlangsung.

Tabel 10. Kelebihan dan Kekurangan Larutan

Larutan	Kelebihan	Kekurangan
<i>Aquadest</i>	Tidak menimbulkan korosi berlebih dan endapan pada plat elektroda selama proses elektrolisis	Produksi hidrogen yang dihasilkan sedikit atau lambat pada saat proses elektrolisis karna <i>aquadest</i> tidak mengandung ion yang reaktif seperti NaCl dan KOH
NaCl	Produksi hidrogen lebih besar apabila hanya dibandingkan dengan <i>aquadest</i> saja	Menghasilkan banyaknya endapan daripada <i>aquadest</i> dan KOH, sehingga menyebabkan produksi hidrogen terganggu karna banyaknya endapan yang dihasilkan oleh NaCl pada setiap variabel dan korosi yang dihasilkan lebih tinggi dari <i>aquadest</i>
KOH	Produksi hidrogen lebih besar dibandingkan dengan <i>aquadest</i> dan NaCl dan lebih cenderung sedikit endapan yang dihasilkan apabila dibandingkan dengan NaCl saja	Tingkat korosi yang dihasilkan oleh KOH cenderung lebih tinggi dari NaCl dan <i>aquadest</i> sedangkan endapan yang dihasilkan lebih banyak dari <i>aquadest</i>

SIMPULAN

Berdasarkan data dan pembahasan, maka kesimpulan yang dapat diambil adalah sebagai berikut:

1. Variasi jenis dan konsentrasi larutan elektrolit seperti NaCl dan KOH memberikan pengaruh signifikan terhadap produktivitas gas hidrogen pada proses elektrolisis air menggunakan *wet* HHO generator. NaCl dengan variasi massa yang tertinggi 153 gram menghasilkan hidrogen 1.319 ppm pada variabel rendah dan 1.509 ppm pada variabel tinggi, sementara itu KOH dengan variasi massa tertinggi 147 gram dapat menghasilkan hidrogen 2.213 ppm pada variabel rendah dan 2.320 ppm pada variabel tinggi. Hal ini disebabkan karena massa reaktan yang semakin banyak maka tumbukan semakin sering terjadi, sehingga semakin cepat dan semakin banyak produksi hidrogen yang dihasilkan.
2. Variasi jenis dan konsentrasi larutan elektrolit seperti NaCl dan KOH memberikan pengaruh signifikan terhadap korosifitas elektroda yang digunakan. NaCl dapat menghasilkan korosi karena mengandung ion klorida (Cl⁻), NaCl dengan variasi massa 153 gram menghasilkan korosi sebesar 0,038 gram pada variabel tinggi letak elektroda dan 0,029 gram pada variabel rendah elektroda, sementara itu KOH yang mengandung ion OH⁻ yang sangat reaktif pada KOH menghasilkan korosi lebih tinggi dari NaCl, KOH dengan variasi massa 147 gram menghasilkan korosi yang tinggi yaitu 0,117 gram pada variabel tinggi letak elektroda dan 0,109 gram pada variabel rendah letak elektroda. Hal ini disebabkan ion dari Cl⁻ dan OH⁻ dari KOH yang sangat reaktif dapat merusak permukaan elektroda, yang nantinya dapat menyebabkan timbulnya pembentukan Fe^{2++2e}. Selanjutnya Fe^{2++2e} tersebut akan menghasilkan endapan, lalu menyebabkan korosi pada elektroda.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] I. Nurlatifah And L. Arlianti, "Produksi Gas Hidrogen Dari Reaksi Elektrolisis Sebagai Bahan Bakar Non-Fosil," Vol. 8, No. 1, Pp. 30–36, 2021.
- [2] Fitriyanti, "Pengaruh Luas Permukaan Elektroda Dengan Penambahan Pwm Controller Terhadap Efisiensi Produksi Gas Hidrogen Pada Proses Elektrolisis," *J. Sains Fis.*, Vol. 1, Pp. 42–52, 2021.
- [3] T. Arifin, B. Rudyanto, And Y. Susmiati, "Studi Penggunaan Plat Elektroda Netral Stainless Steel 316 Dan Aluminium Terhadap Performa Generator Hho Dry Cell Studi Penggunaan Plat Elektroda

- Netral Stainless Steel 316 Dan Aluminium Terhadap Teknik Energi Terbarukan , Jurusan Teknik , Politeknik Nege,” *Rona Tek. Pertan.*, Vol. 8, No. 2, Pp. 116–129, 2020, Doi: 10.17969/Rtp.V8i2.3009.
- [4] A. J. Sinaga, S. L. M. H. Simanjuntak, And C. S. P. Manurung, “Analisa Laju Korosi Dan Kekerasan Pada Stainless Steel 316 L Dalam Larutan 10 % Nacl Dengan Variasi Waktu Perendaman,” *Sjome*, Vol. 1, No. 2, Pp. 92–99, 2020.
- [5] B. C. P. Mbulu, A. P. J. Permana, And D. D. Hercahyo, “Evaluation Of Electrode Deposition And Corrosiveness In Hho Generators : A Comparative Study Between Theoretical Predictions And Experimental Results,” *Proceeding Int. Conf. Math. Sci. Nat. Sci. Comput.*, Vol. 1, No. 1, Pp. 1–14, 2024.
- [6] M. D. Zulfany, A. Manggala, And I. Pratiwi, “Produksi Gas Hidrogen Dengan Proses Elektrolisis Air Laut Ditinjau Dari Konsentrasi Koh,” Vol. 9, No. Dc, Pp. 105–113, 2024.
- [7] C. Q. Jessen, *Stainless Steel And Corrosion*, 1st Ed. Skanderborg: Damstahl A/S, 2011. [Online]. Available: [Www.Damstahl.Com](http://www.Damstahl.Com)
- [8] Azwar, “Korosi Logam Dan Pengendaliannya; Artikel Review,” Pp. 847–852.
- [9] W. Anggistina, “Pengembangan Modul Praktikum Kimia Stoikiometri Berbasis Lingkungan Di Sma N 4 Kaur,” Institut Agama Islam Negeri (Iain) Bengkulu, 2021.