

**Pembuatan Gas Hidrogen Melalui Proses Elektrolisis Air Dengan  
Elektroda Batang, Lembaran Dan Spiral Menggunakan Sumber  
Energi Surya**

**SKRIPSI**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan

Memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun Oleh :

**Asriadi**

**NIM : 4514044005**

**PROGRAM STUDI TEKNIK KIMIA FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS BOSOWA**

**MAKASSAR**

**2019**

LEMBAR PERSETUJUAN  
PEMBUATAN GAS HIDROGEN MELALUI PROSES ELEKTROLISIS AIR  
DENGAN ELEKTRODA LEMBARAN, SPIRAL DAN BATANG  
MENGUNAKAN SUMBER ENERGI SURYA

SKRIPSI

Diajukan untuk memenuhi persyaratan  
Memperoleh gelar Sarjana Teknik




Disusun Oleh :

Asriadi

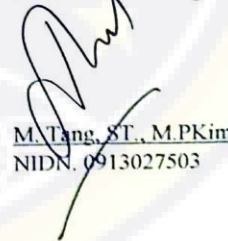
NIM : 4514044005

Telah diperiksa dan disetujui oleh :

Dosen Pembimbing I

  
Dr. Ir. A. Zulhikar Syaiful, MT  
NIDN. 0918026902

Dosen Pembimbing II

  
M. Tang, ST., M.PKim  
NIDN. 0913027503

**LEMBAR PENGESAHAN**  
**Pembuatan Gas Hidrogen Melalui Proses Elektrolisis Air Dengan Elektroda**  
**Lembaran, Spiral Dan Batang Menggunakan Sumber Energi Surya**

**SKRIPSI**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan  
Memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun Oleh :  
Asriadi  
NIM : 4514044005

Skripsi ini telah diuji dan dinyatakan lulus  
pada tanggal 15 Maret 2019

**Pembimbing**

1. Dr. Zulfikar Syaiful, ST., MT
2. M. Tang, ST., M.Pkim

**Penguji**

3. Dr. Ridwan, ST., M.Si
4. Dr. Hamsina, ST., M.Si

Tanda Tangan

Tanda Tangan

Mengetahui

Ketua Jurusan Teknik Kimia

M. Tang, ST., M.PKim  
NIDN. 0913027503

## INTISARI

Penelitian tentang pembuatan gas hidrogen melalui elektrolisis air dengan tujuan merancang alat pembuatan gas hidrogen dan menganalisis pengaruh variasi penggunaan elektroda batang, lembaran dan spiral pada proses elektrolisis terhadap gas yang dihasilkan

Metode yang dilakukan dengan menambahkan katalis sebanyak 5% dari 1.500 ml aquades dan arus 5 A pada masing-masing percobaan. Sumber energi yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari aki mobil yang sebelumnya diisi dayanya menggunakan energi matahari menggunakan panel surya. Proses elektrolisis yang menggunakan elektroda plat stainless steel ini berlangsung selama 60 menit tiap percobaan dan tiap sepuluh menit dihitung tekanan dan suhu gas hidrogen yang dihasilkan. Selanjutnya gas hidrogen yang dihasilkan dihitung volumenya menggunakan dua metode yaitu secara teoritis menggunakan rumus gas ideal dan secara aktual dengan menghitung volume penampung gas yang berbentuk tabung.

Hasil Penelitian menunjukkan terjadinya kenaikan gas hidrogen yang stabil pada elektroda lembaran, spiral dan batang selama 60 menit. Namun hasil perhitungan secara teoritis dan aktual terdapat sedikit perbedaan. Dari hasil perhitungan secara teoritis diperoleh volume gas elektroda lembaran, spiral, dan batang secara berturut-turut 2,3405, 2,3280 dan 2,3126. Sedangkan secara aktual volume gas elektroda lembaran, spiral, dan batang, secara berturut-turut 1,8588, 1,6579 dan 1,507. Melihat hasil yang telah diperoleh maka pilihan elektroda bentuk lembaran merupakan pilihan utama.

Kata kunci : *Elektrolisis, Elektroda Lembaran, Spiral, Batang, Energi Surya, Volume Gas Hidrogen*

## KATA PENGANTAR

Bismillahirrahmanirrahim

Assalamu'alikum Wr. Wb.

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT atas rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan skripsi ini yang berjudul "Pembuatan Gas Hidrogen Dengan Proses Elektrolisis Air Dengan Variasi Elektroda (Batang, Lembaran dan Spiral) Menggunakan Sumber Energi Surya". Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat yang harus dipenuhi untuk menyelesaikan Program Studi S1 pada Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Bosowa Makassar.

Dalam menyelesaikan skripsi ini, kami banyak menerima bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak. Pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Dr. Ridwan, ST., MT, selaku dekan Fakultas Teknik Universitas Bosowa sekaligus dosen penguji.
2. Bapak M. Tang, ST., M.Pkim, sebagai Ketua Jurusan Teknik Kimia sekaligus dosen pembimbing.
3. Bapak Dr. Ir. A. Zulfikar Syaiful, MT. Selaku dosen pembimbing
4. Ibu Dr. Hamsina, ST., MT. selaku dosen penguji
5. Seluruh dosen yang ada di program studi Teknik Kimia Universitas Bosowa yang telah memberikan ilmunya selama saya menjalani studi.
6. Ibu Nurmiaty Darwis, ST. dan Ibu Yuli selaku staf yang telah banyak membantu penulis dalam mengenyam pendidikan.
7. Teristimewa kepada Orang Tua dan keluarga besar penulis yang tak pernah lelah memberikan semangat dan motivasi kepada penulis dalam menyelesaikan studi.
8. Teman-teman seperjuangan angkatan 2014nTeknik Kimia Universitas Bosowa
9. Dan seluruh pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu yang telah membantu penulis selama mengenyam bangku kuliah

Dalam penyusunan penelitian ini, penulis menyadari masih banyak terdapat kekurangan. Oleh karena itu, penulis sangat mengharapkan saran dan kritik dari pembaca yang bersifat konstruktif demi kesempurnaan penulis ini. Akhir kata semoga tulisan ini bermanfaat bagi kita semua.

Makassar, 21 Maret 2019

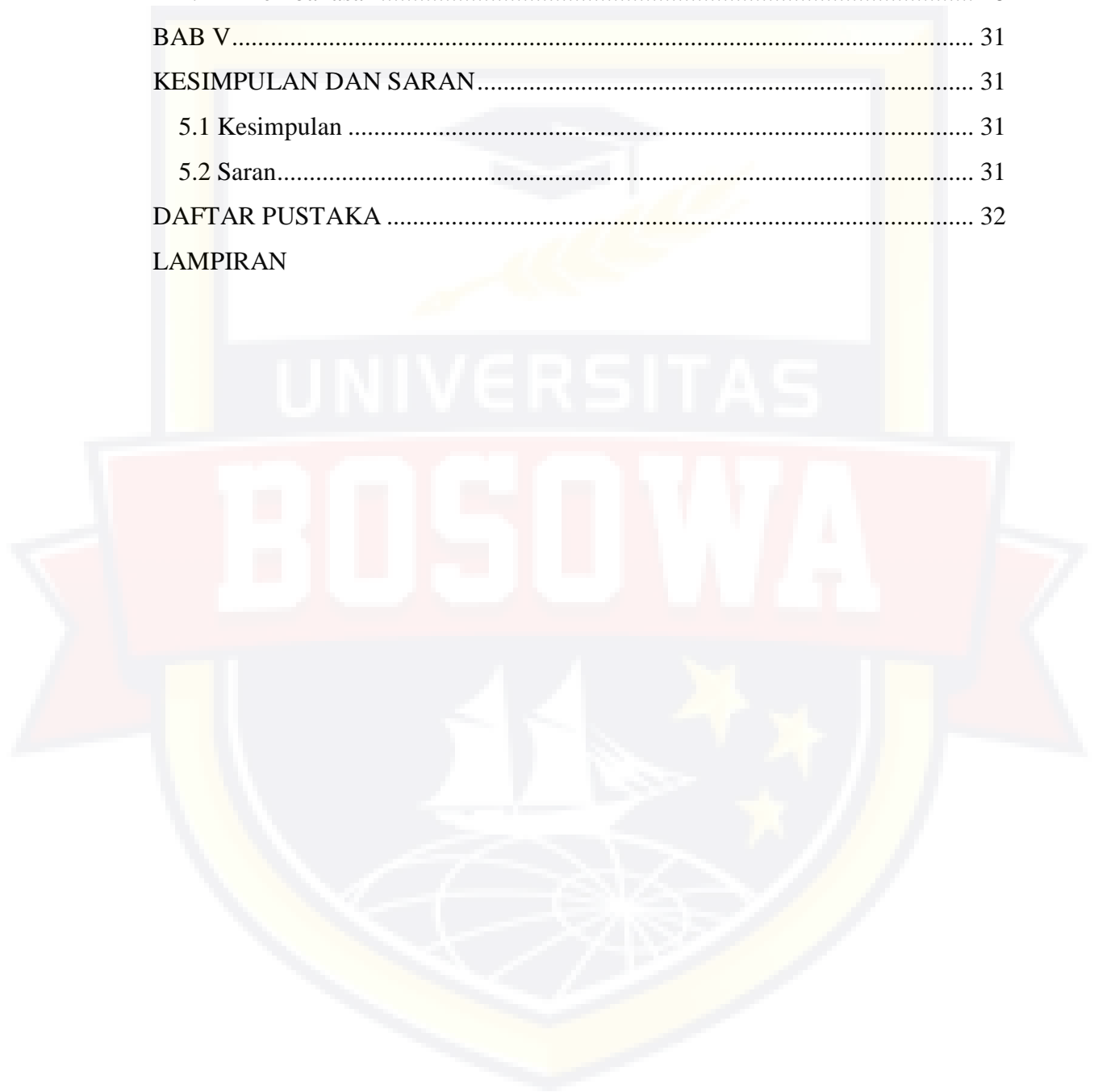
Penulis



## Daftar Isi

HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PERSETUJUAN.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
LEMBAR PENGESAHAN .....	ii
INTISARI.....	iv
KATA PENGANTAR .....	v
Daftar Isi.....	vii
Daftar Gambar.....	ix
Daftar Tabel .....	x
BAB I .....	1
PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Manfaat Penelitian.....	3
BAB II.....	4
TINJAUAN PUSTAKA.....	4
2.1 Gas Hidrogen.....	4
2.2 Air.....	7
2.3 Elektrolisis Air.....	7
2.4 Sel Elektrolisis.....	9
2.5 Sel Surya.....	11
2.6 Elektroda.....	13
BAB III.....	21
METODOLOGI PENELITIAN .....	21
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian .....	21
3.2 Alat dan Bahan Penelitian .....	21
3.3 Metode Penelitian.....	22
3.4 Diagram Alir Penelitian.....	23
3.5 Jadwal Pelaksanaan Penelitian .....	24
BAB IV .....	25

HASIL DAN PEMBAHASAN.....	25
4.1 Analisa Data.....	25
4.2 Pembahasan.....	28
BAB V.....	31
KESIMPULAN DAN SARAN.....	31
5.1 Kesimpulan.....	31
5.2 Saran.....	31
DAFTAR PUSTAKA.....	32
LAMPIRAN	





## Daftar Gambar

Gambar 1 Proses Elektrolisis .....	8
Gambar 2 Reaksi Anoda dan Katoda.....	14
Gambar 3 Elektroda Lembaran .....	15
Gambar 4 Elektroda Spiral.....	15
Gambar 5 Elektroda Batang .....	15
Gambar 6 sel bahan bakar .....	16
Gambar 7 Rangkaian Alat Elektrolisis.....	22
Gambar 8 Rancangan Alat .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Gambar 9 Panel Surya.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Gambar 10 Aki.....	26
Gambar 11 Diagram hasil elektrolisis menggunakan elektroda lembaran.....	28
Gambar 12 Diagram hasil elektrolisis menggunakan elektroda spiral.....	29
Gambar 13 Diagram hasil elektrolisis menggunakan elektroda batang.....	30
Gambar 14 Diagram hasil elektrolisis ketiga elektroda.....	31

**BOSOWA**



## Daftar Tabel

Tabel 1 hasil elektrolisis menggunakan elektroda lembaran .....	25
Tabel 2 Hasil elektrolisis Menggunakan Elektroda Spiral.....	26
Tabel 3 Hasil elektrolisis Menggunakan Elektroda Batang.....	27
Tabel 4 Hasil elektrolisis Menggunakan Elektroda Lembaran,Spiral dan Batang	28



# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Energi merupakan sesuatu yang sangat dibutuhkan oleh manusia untuk menjalani kehidupan sehari-hari. Hal ini berarti bahwa energi tidak dapat diciptakan atau dimusnahkan tetapi hanya berpindah bentuk dari satu bentuk ke bentuk yang lain. Sehingga pada intinya adalah manusia sangat bergantung pada bentuk energi yang dapat dengan mudah untuk digunakan. Bentuk energi yang saat ini paling banyak digunakan manusia adalah bentuk energi bahan bakar hidrokarbon atau sering disebut bahan bakar fosil. Sumber energi ini termasuk didalam energi yang tak terbarukan dan menimbulkan dampak polusi, karena dalam pembentukannya membutuhkan waktu yang sangat lama dan dalam pemakaiannya menghasilkan gas-gas berbahaya. Tercatat bahwa 53 % rakyat Indonesia masih sangat bergantung pada energi fosil ini (Yasmitha dkk. 2009).

Oleh karena itu diperlukan sumber energi baru yang dapat diperbarui dan tentunya ramah lingkungan. Salah satu energi yang diharapkan dapat dikembangkan adalah energi hidrogen yang dihasilkan dari proses elektrolisis. Energi ini dapat diperbaharui karena bahan baku utamanya adalah air yang tersedia melimpah di bumi. Energi ini akan ramah lingkungan karena hasil pembakaran hidrogen dengan oksigen akan menghasilkan air.

Air banyak tersedia dimana-mana, hampir 70% dari bumi ini terdiri atas air. Banyak sekali pemanfaatan dari air, yaitu sebagai air minum, untuk mencuci, sebagai pelarut, sebagai pembangkit listrik tenaga air (PLTA), bahkan akhir akhir ini air bisa dijadikan sebagai salah satu energi bahan bakar. Pemanfaatan air sebagai sumber energi adalah dengan cara mengambil hidrogen yang terdapat pada air. Hidrogen diproyeksikan oleh banyak negara akan menjadi bahan bakar yang lebih ramah lingkungan dan lebih efisien karena memiliki tingkat pembakaran 75% lebih baik dari pada BBM. Teknologi pemanfaatan air sebagai bahan bakar sudah sangat banyak. Diantaranya adalah teknologi *fuel cell* dan sistem HOD (*Hydrogen Oxygen Demand*). Akan tetapi, kedua teknologi ini

membutuhkan biaya operasional dan instalasi yang cukup mahal dan masih membutuhkan bentuk energi lain untuk memecahkan H<sub>2</sub>O menjadi Hidrogen (H<sub>2</sub>) dan Oksigen (O<sub>2</sub>). Salah satu teknologi pemanfaatan air sebagai energi yang murah, cepat, dan ramah lingkungan adalah dengan elektrolisis air.

Gas hidrogen tidak dapat ditambang melainkan harus diproduksi. Alternatif tersebut dapat dilakukan dengan melakukan proses elektrolisis menggunakan air. Air merupakan sumber daya alam yang sangat penting bagi kehidupan. Air memiliki jumlah yang sangat melimpah contohnya air sungai dan air asin di laut sekitar 1.337 juta km<sup>3</sup> (Kodoatie, 2010).

Apabila air dikelola dengan baik maka air merupakan sumber daya alam yang dapat diperbaharui tetapi belum ada kesadaran dalam mengelola sumber daya air. Produksi gas hidrogen dari air merupakan cara yang dapat dilakukan untuk mendapatkan gas hidrogen. Gas hidrogen yang tinggi memberikan tingkat emisi yang mendekati *zero emission* (Alimah *et.al.*, 2008)

Hidrogen di alam sangat berlimpah tetapi bukan dalam bentuk komponen tunggal melainkan dalam bentuk senyawa yaitu air. Hidrogen dapat diproduksi dengan cara elektrolisis dengan menggunakan air dan *caustic soda* sebagai elektrolitnya, karena dengan menggunakan *caustic* akan menghasilkan oksigen pada sisi katodanya. Gas hidrogen yang tinggi memberikan tingkat emisi yang mendekati *zero emission*. Krisis energi dan masalah polusi yang dihadapi oleh negara berkembang seperti Indonesia merupakan suatu permasalahan yang kompleks karena mencakup seluruh aspek kehidupan masyarakat, sehingga perlu dilakukan penelitian mengenai elektrolisis hidrogen sebagai sumber energi alternatif yang lebih ramah terhadap lingkungan. (Alimah *et.al.*, 2008).

Elektroda yang digunakan umumnya merupakan elektroda inert, seperti Grafit (C), Platina (Pt), dan Emas (Au). Elektroda berperan sebagai tempat berlangsungnya reaksi. Reaksi reduksi berlangsung di katoda, sedangkan reaksi oksidasi berlangsung di anoda. Kutub negatif sumber arus mengarah pada katoda (sebab memerlukan elektron) dan kutub positif sumber arus tentunya mengarah pada anoda. Akibatnya, katoda bermuatan negatif dan menarik kation-kation yang akan tereduksi menjadi endapan logam. Sebaliknya, anoda bermuatan positif dan

menarik anion-anion yang akan teroksidasi menjadi gas. Terlihat jelas bahwa tujuan elektrolisis adalah untuk mendapatkan endapan logam di katoda dan gas di anoda.

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan maka rumusan masalah pada penelitian ini adalah:

1. Bagaimana merancang alat pembuatan gas hidrogen melalui proses elektrolisis air dengan elektroda batang, lembaran dan spiral menggunakan sumber energi matahari
2. Bagaimana variasi penggunaan elektroda batang, lembaran dan spiral) pada proses elektrolisis terhadap gas yang dihasilkan?

## 1.3 Tujuan Penelitian

1. Merancang alat pembuatan gas hidrogen melalui proses elektrolisis air dengan elektroda batang, lembaran dan spiral menggunakan sumber energi matahari
2. Menganalisis pengaruh variasi penggunaan elektroda batang, lembaran dan spiral) pada proses elektrolisis terhadap gas yang dihasilkan?

## 1.4 Manfaat Penelitian

1. Menghasilkan gas hidrogen dari air sebagai energi alternatif untuk mengatasi krisis energi dimasa mendatang
2. Bahan pertimbangan dalam penelitian penelitian yang berhubungan dengan bagaimana menghasilkan gas hidrogen dari air
3. Dapat menjadi acuan untuk penelitian lebih lanjut atau metode lainnya

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Gas Hidrogen

Hidrogen (bahasa Latin: hidrogenium, dari bahasa Yunani: hydro: air, genes: membentuk) adalah unsur kimia pada tabel periodik yang memiliki simbol H dan nomor atom 1. Pada suhu dan tekanan standar, hidrogen tidak berwarna, tidak berbau, bersifat non-logam, bervalensi tunggal, dan merupakan gas diatomik yang sangat mudah terbakar. Dengan massa atom 1,00794 amu, hidrogen adalah unsur teringan di dunia (Neni.M 2008).

Dalam keadaan normal di bumi, unsur hidrogen berada dalam keadaan gas diatomik, yaitu terdiri dari 2 atom dengan lambang  $H_2$ . Namun, gas hidrogen sangatlah langka di atmosfer bumi (1 ppm berdasarkan volume) oleh karena beratnya yang ringan yang menyebabkan gas hidrogen lepas dari gravitasi bumi. Walaupun demikian, hidrogen masih merupakan unsur paling melimpah di permukaan bumi ini. Kebanyakan hidrogen bumi berada dalam keadaan bersenyawa dengan unsur lain seperti hidrokarbon dan air. Gas hidrogen dihasilkan oleh beberapa jenis bakteri dan ganggang (Neni. M 2008).

Gas hidrogen juga dapat meledak dalam campuran klorin (5-95 persen). Campuran ini dapat meledak dalam menanggapi percikan, panas, atau bahkan sinar matahari. Suhu hidrogen autosulut (suhu di mana pembakaran spontan akan terjadi) adalah  $500^{\circ}C$ . Api murni hidrogen -oksigen memancarkan cahaya ultraviolet dan tidak terlihat dengan mata telanjang. Dengan demikian, deteksi dari kebocoran hidrogen yang terbakar berbahaya dan membutuhkan detektor api. Karena hidrogen mengapung di udara, api hidrogen cepat hilang dan tidak menyebabkan kerusakan yang lebih parah dari kebakaran hidrokarbon.  $H_2$  bereaksi elemen dengan oksidasi, yang pada gilirannya bereaksi secara spontan dan keras dengan klorin dan fluorin untuk membentuk hidrogen halida yang sesuai.

$H_2$  tidak membentuk senyawa meskipun dengan unsur-unsur yang paling stabil. Ketika berpartisipasi dalam reaksi, hidrogen dapat memiliki muatan positif

parsial ketika bereaksi dengan unsur-unsur yang lebih elektron negatif seperti halogen atau oksigen, tetapi dapat memiliki muatan negatif parsial ketika bereaksi dengan unsur-unsur yang lebih elektropositif seperti logam alkali. Ketika hidrogen berikatan dengan fluorin, oksigen, atau nitrogen, dapat berpartisipasi dalam bentuk media nonkovalen (antar molekul) ikatan yang disebut ikatan hidrogen, yang sangat penting untuk stabilitas banyak molekul biologis. Senyawa yang memiliki ikatan hidrogen dengan logam dan metaloid dikenal sebagai hidrida. Oksidasi hidrogen menghilangkan elektron dan menghasilkan ion  $H^+$ . Seringkali,  $H^+$  yang terdapat dalam larutan air disebut sebagai ion hidronium ( $H_3O$ ). Jenis ini sangat penting dalam kimia asam basa.

Hidrogen ( $H_2$ ), Pada suhu dan tekanan standar hidrogen tidak berwarna, tidak berbau, bersifat non-logam, bervalensi tunggal, dan merupakan gas diatomik yang sangat mudah terbakar. Hidrogen adalah unsur teringan di dunia, ditemukan di udara pada konsentrasi sekitar 100 ppm (0,01%). Hidrogen adalah gas yang mudah terbakar dan meledak dalam campuran dengan udara atau oksigen.

Hidrogen adalah unsur paling melimpah dengan persentase kira-kira 75% dari total massa unsur alam semesta. Senyawa hidrogen relatif langka dan jarang dijumpai secara alami di bumi, dan biasanya dihasilkan secara industri dari berbagai senyawa hidrokarbon seperti metana. Unsur ini ditemukan dalam kelimpahan yang besar di bintang-bintang dan planet-planet gas raksasa. Di seluruh alam semesta ini, hidrogen kebanyakan ditemukan dalam keadaan atomik dan plasma yang sifatnya berbeda dengan molekul hidrogen. Sebagai plasma, elektron hidrogen dan proton terikat bersama, dan menghasilkan konduktivitas elektrik yang sangat tinggi dan daya pancar yang tinggi (menghasilkan cahaya dari matahari dan bintang lain).

Karakteristik Gas Hidrogen sebagai berikut:

- Kepadatan di 15 °C, 1 bar: 0,085 kg / m<sup>3</sup>,
- Titik didih pada 1.013 bar: -252.9°C,
- Titik pengapian: 560 °C,
- Tingkat pembakaran: 8.99 m / s,
- Nilai kalori di 0 °C, 1.013 bar: 10790 kJ / m<sup>3</sup>,

- Konsentrasi ledakan campuran dengan udara: dari 4,1% menjadi 75%,
- Konsentrasi ledakan campuran dengan oksigen: dari 4,5% menjadi 95%.

Ada beberapa metode pembuatan gas hidrogen yang telah kita kenal. Namun semua metode pembuatan tersebut prinsipnya sama, yaitu memisahkan hidrogen dari unsur lain dalam senyawanya. Tiap-tiap metode memiliki keunggulan dan kekurangan masing-masing. Tetapi secara umum parameter yang dapat dipertimbangkan dalam memilih metode pembuatan H<sub>2</sub> adalah biaya, emisi yang dihasilkan, kelayakan secara ekonomi, skala produksi dan bahan baku. Berikut ini adalah beberapa metode pembuatan H<sub>2</sub>:

1. Steam Reforming
2. Gasifikasi Biomassa
3. Gasifikasi Batubara
4. Elektrolisis Air (H<sub>2</sub>O)

#### Sifat Fisika dan Kimia Hidrogen

##### Sifat fisika

Titik lebur	: -259,14 °C
Titik didih	: -252,87 °C
Warna	: tidak berwarna
Bau	: tidak berbau
Densitas	: 0,08988 g/cm <sup>3</sup> pada 293 K
Kapasitas panas	: 14,304 J/gK

##### Sifat kimia

Panas Fusi	: 0,117 kJ/mol H <sub>2</sub>
Energi ionisasi 1	: 1312 kJ/mol
Afinitas electron	: 72,7711 kJ/mol
Panas atomisasi	: 218 kJ/mol
Panas penguapan	: 0,904 kJ/mol H <sub>2</sub>
Jumlah kulit	: 1
Biloks minimum	: -1
Elektronegatifitas	: 2,18 (skala Pauli)
Konfigurasi electron	: 1s <sup>1</sup>
Biloks maksimum	: 1
Volume polarisasi	: 0,7 Å <sup>3</sup>
Struktur	: hcp (hexagonal close packed) (padatan H <sub>2</sub> )



Jari-jari atom	: 25 pm
Konduktifitas termal	: 0,1805 W/mK
Berat atom	: 1,0079
Potensial ionisasi	: 13,5984 eV

## 2.2 Air

Air adalah zat cair yang tidak mempunyai rasa, warna dan bau, yang terdiri dari hidrogen dan oksigen dengan rumus kimiawi  $H_2O$ . Karena air merupakan suatu larutan yang hampir-hampir bersifat universal, maka zat-zat yang paling alamiah maupun buatan manusia hingga tingkat tertentu terlarut di dalamnya. Dengan demikian, air di dalam mengandung zat-zat terlarut. Zat-zat ini sering disebut pencemar yang terdapat dalam air (*Linsley*, 1991).

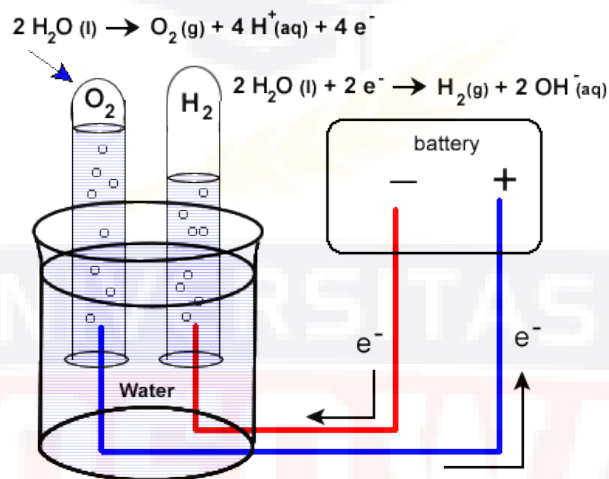
Sifat air yang penting dapat digolongkan ke dalam sifat fisis, kimiawi, dan biologis. Sifat kimia dari air yaitu mempunyai pH = 7 dan oksigen terlarut jenuh pada 9 mg/L. Air merupakan pelarut yang universal, hampir semua jenis zat dapat larut di dalam air. Air juga merupakan cairan biologis, yakni didapat di dalam tubuh semua organisme. Sifat biologis dari air yaitu di dalam perairan selalu di dapat kehidupan, fauna dan flora. Benda hidup ini berpengaruh timbal balik terhadap kualitas air (*Slamet*, 2002).

Zat kimia ini merupakan suatu pelarut yang penting, yang memiliki kemampuan untuk melarutkan banyak zat kimia lainnya, seperti garam-garam, gula, asam, beberapa jenis gas dan banyak macam molekul organik.

## 2.3 Elektrolisis Air

Elektrolisis air adalah peristiwa penguraian senyawa air ( $H_2O$ ) menjadi oksigen ( $O_2$ ) dan hidrogen gas ( $H_2$ ) dengan menggunakan arus listrik yang melalui air tersebut. Pada katode, dua molekul air bereaksi dengan menangkap dua elektron, tereduksi menjadi gas  $H_2$  dan ion hidroksida ( $OH^-$ ). Sementara itu pada anode, dua molekul air lain terurai menjadi gas oksigen ( $O_2$ ), melepaskan 4 ion  $H^+$  serta mengalirkan elektron ke katode. Ion  $H^+$  dan  $OH^-$  mengalami netralisasi sehingga terbentuk kembali beberapa molekul air. Faktor yang mempengaruhi elektrolisis air yaitu kualitas elektrolit, suhu, tekanan, resistansi elektrolit, material dari elektroda dan material pemisah. Gas hidrogen dan oksigen

yang dihasilkan dari reaksi ini membentuk gelembung pada elektroda dan dapat dikumpulkan. Prinsip ini kemudian dimanfaatkan untuk menghasilkan hidrogen yang dapat digunakan sebagai bahan bakar kendaraan hidrogen. Dengan menyediakan energi dari baterai, Air ( $\text{H}_2\text{O}$ ) dapat dipisahkan ke dalam molekul diatomik hidrogen ( $\text{H}_2$ ) dan oksigen ( $\text{O}_2$ ).



Gambar 1 Proses Elektrolisis

Gas yang dihasilkan dari proses elektrolisis air disebut gas HHO atau *oxyhydrogen* atau disebut juga *Brown's Gas*. *Brown* (1974), dalam penelitiannya melakukan elektrolisa air murni sehingga menghasilkan gas HHO yang dinamakan dan dipatenkan dengan nama *Brown's Gas*. Untuk memproduksi *Brown's Gas* digunakan elektroliser untuk memecah molekul-molekul air menjadi gas.

Beda potensial yang dihasilkan oleh arus listrik antara anoda dan katoda akan mengionisasi molekul air menjadi ion positif dan ion negatif. Pada katoda terdapat ion positif yang menyerap elektron dan menghasilkan molekul ion  $\text{H}_2$ , dan ion negatif akan bergerak menuju anoda untuk melepaskan elektron dan menghasilkan molekul ion  $\text{O}_2$ . Reaksi total elektrolisis air adalah penguraian air menjadi hidrogen dan oksigen. Bergantung pada jenis elektrolit yang digunakan, reaksi setengah sel untuk elektrolit asam atau basa dituliskan dalam dua cara yang berbeda.

Elektrolit asam, di anoda :  $\text{H}_2\text{O} \rightarrow \frac{1}{2} \text{O}_2 + 2\text{H}^+ + 2\text{e}^-$

di katoda :  $2\text{H}^+ + 2\text{e}^- \rightarrow \text{H}_2$

total :  $\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2 + \frac{1}{2} \text{O}_2$

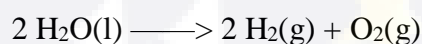
Elektrolit basa, di katoda :  $2\text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{H}_2 + 2\text{OH}^-$

di anoda :  $2\text{OH}^- \rightarrow \frac{1}{2} \text{O}_2 + \text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^-$

total :  $\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2 + \frac{1}{2} \text{O}_2$

#### 2.4 Sel Elektrolisis

Elektrolisis adalah peristiwa penguraian elektrolit dalam sel elektrolisis oleh arus listrik. Dalam sel volta/galvani, reaksi oksidasi reduksi berlangsung dengan spontan, dan energi kimia yang menyertai reaksi kimia diubah menjadi energi listrik. Sedangkan elektrolisis merupakan reaksi kebalikan dari sel volta/galvani yang potensial selnya negatif. Sel elektrolisis adalah sel yang menggunakan arus listrik untuk menghasilkan reaksi redoks yang diinginkan dan digunakan secara luas di dalam masyarakat kita. Baterai aki yang dapat diisi ulang merupakan salah satu contoh aplikasi sel elektrolisis dalam kehidupan sehari-hari. Air,  $\text{H}_2\text{O}$ , dapat diuraikan dengan menggunakan listrik dalam sel elektrolisis. Proses ini akan mengurai air menjadi unsur-unsur pembentuknya. Reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut :



Rangkaian sel elektrolisis hampir menyerupai sel volta. Yang membedakan sel elektrolisis dari sel volta adalah pada sel elektrolisis, komponen voltmeter diganti dengan sumber arus (umumnya baterai). Larutan atau lelehan yang ingin dielektrolisis, ditempatkan dalam suatu wadah. Selanjutnya, elektroda dicelupkan ke dalam larutan maupun lelehan elektrolit yang ingin dielektrolisis. Elektroda yang digunakan umumnya merupakan elektroda inert, seperti Grafit (C), Platina (Pt), dan Emas (Au). Elektroda berperan sebagai tempat berlangsungnya reaksi. Reaksi reduksi berlangsung di katoda, sedangkan reaksi oksidasi berlangsung di anoda. Kutub negatif sumber arus mengarah pada katoda (sebab memerlukan elektron) dan kutub positif sumber arus tentunya mengarah pada anoda. Akibatnya, katoda bermuatan negatif dan menarik kation-kation yang akan tereduksi menjadi endapan logam. Sebaliknya, anoda bermuatan positif dan

menarik anion-anion yang akan teroksidasi menjadi gas. Terlihat jelas bahwa tujuan elektrolisis adalah untuk mendapatkan endapan logam di katoda dan gas di anoda. Faktor yang mempengaruhi elektrolisis antara lain penggunaan katalisator, luas permukaan tercelup, sifat logam bahan elektroda dan konsentrasi pereaksi.

#### a. Penggunaan Katalisator

Senyawa-senyawa seperti asam, basa dan garam yang dapat menghantarkan arus listrik dapat digunakan dalam proses elektrolisis. Adanya ion dalam larutan menyebabkan peristiwa konduksi dan ketika arus listrik dilewatkan pada larutan tersebut, maka elektron akan bergerak diantara ion-ion. Misalnya untuk asam H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> dan basa NaOH berfungsi mempermudah proses penguraian air menjadi hidrogen dan oksigen karena ion-ion katalisator mampu mempengaruhi kestabilan molekul air menjadi menjadi ion H<sup>+</sup> dan OH<sup>-</sup> yang lebih mudah di elektrolisis karena terjadi penurunan energi pengaktifan.

Reaksi	: Elektrolisis larutan H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> dalam air :
Anoda	: $2\text{H}_2\text{O}(\text{aq}) \rightarrow 4\text{H}^+(\text{aq}) + \text{O}_2(\text{g}) + 4\text{e}^-$ (Oksidasi)
Katoda	: $2\text{H}^+(\text{aq}) + 2\text{e}^- \rightarrow \text{H}_2(\text{g})$ (Reduksi)
Reaksi Total	: $2\text{H}_2\text{O}(\text{aq}) \rightarrow 2\text{H}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g})$
Reaksi	: Elektrolisis larutan NaOH dalam air :
Katoda	: $2\text{H}_2\text{O}(\text{l}) + 2\text{e}^- \rightarrow 2\text{OH}^-(\text{aq}) + \text{H}_2(\text{g})$
Anoda	: $4\text{OH}^-(\text{aq}) \rightarrow 2\text{H}_2\text{O}(\text{l}) + \text{O}_2(\text{g}) + 4\text{e}^-$
Reaksi Total	: $2\text{H}_2\text{O}(\text{l}) \rightarrow 2\text{H}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g})$

#### b. Luas permukaan tercelup

Semakin banyak luas yang semakin banyak menyentuh elektrolit maka semakin mempermudah suatu elektrolit untuk mentransfer elektronnya. Sehingga terjadi hubungan sebanding jika luasan yang tercelup sedikit maka semakin mempersulit elektrolit untuk melepaskan elektron dikarenakan sedikitnya luas penampang penghantar yang menyentuh elektrolit. Sehingga transfer elektron bekerja lambat dalam mengelektrolisis elektrolit.

### c. Sifat logam bahan elektroda

Penggunaan medan listrik pada logam dapat menyebabkan seluruh elektron bebas bergerak dalam metal, sejajar, dan berlawanan arah dengan arah medan listrik. Ukuran dari kemampuan suatu bahan untuk menghantarkan arus listrik. Jika suatu beda potensial listrik ditempatkan pada ujung-ujung sebuah konduktor, muatan-muatan bergerak akan berpindah, menghasilkan arus listrik. Konduktivitas listrik didefinisikan sebagai ratio rapat arus terhadap kuat medan listrik. Konduktivitas listrik dapat dilihat pada deret volta seperti, Li K Ba Sr Ca Na Mg Al Mn Zn Cr Fe Cd Co Ni Sn Pb H Sb Bi Cu Hg Ag Pt Au. Semakin ke kanan maka semakin besar massa jenisnya (Farid M dkk 2012).

### d. Konsentrasi Pereaksi

Semakin besar konsentrasi suatu larutan pereaksi maka akan semakin besar pula laju reaksinya. Ini dikarenakan dengan prosentase katalis yang semakin tinggi dapat mereduksi hambatan pada elektrolit. Sehingga transfer elektron dapat lebih cepat meng-elektrolisis elektrolit dan didapat ditarik garis lurus bahwa terjadi hubungan sebanding terhadap prosentase katalis dengan transfer elektron.

## 2.5 Sel Surya

Sel surya bekerja berdasarkan efek fotoelektrik pada material semikonduktor untuk mengubah energi cahaya menjadi energi listrik. Berdasarkan teori Maxwell tentang radiasi elektromagnet, cahaya dapat dianggap sebagai spektrum gelombang elektromagnetik dengan panjang gelombang yang berbeda. Pendekatan yang berbeda dijabarkan oleh Einstein bahwa efek fotoelektrik mengindikasikan cahaya merupakan partikel diskrit atau quanta energi. Dualitas cahaya sebagai partikel dan gelombang dirumuskan dengan persamaan :

$$E = h \cdot f = h \cdot c / \lambda$$

dimana cahaya pada frekuensi  $f$  atau panjang gelombang  $\lambda$  datang dalam bentuk paket-paket foton dengan energi sebesar  $E$ ;  $h$  adalah konstanta Planck ( $6,625 \times 10^{-34}$  Js) dan  $c$  adalah kecepatan cahaya ( $3 \times 10^8$  m/s). Sifat cahaya sebagai energi dalam paket-paket foton ini yang diterapkan pada sel surya.

Pada awalnya (1839) sifat fotoelektrik ditemukan pada larutan elektro kimia oleh Alexandre Edmond Becquerel, meskipun tidak ada penjelasan ilmiah untuk peristiwa itu. Tahun 1905, Albert Einstein mengamati efek ini pada lempengan metal. Namun pada perkembangannya, material yang dipakai adalah semikonduktor, terutama silikon. Material ini dapat bersifat insulator pada temperatur rendah, tetapi dapat bersifat sebagai konduktor bila tersedia energi.

Prinsip kerja semikonduktor sebagai sel surya mirip dengan dioda sebagai *pn-junction*. *PN-junction* adalah gabungan / lapisan semikonduktor jenis P dan N yang diperoleh dengan cara doping pada silikon murni. Pada semikonduktor jenis P, terbentuk *hole* (pembawa muatan listrik positif) yang jumlahnya lebih banyak dibandingkan jumlah elektronnya, sehingga *hole* merupakan pembawa muatan mayoritas, sedangkan elektron merupakan pembawa muatan minoritas. Demikian pula sebaliknya dengan semikonduktor jenis N. Bila bagian P dari *pn-junction* dihubungkan dengan kutub positif baterai dan bagian N dihubungkan dengan kutub negatif baterai, maka arus dapat mengalir melewati *pn-junction*. Kondisi ini disebut sebagai panjar maju. Bila hal sebaliknya dilakukan (panjar mundur), yaitu bagian N dari *pn-junction* dihubungkan dengan kutub positif baterai dan bagian P dihubungkan dengan kutub negatif baterai, maka arus tidak dapat mengalir melewati *pn-junction*. Akan tetapi, masih ada arus dalam ukuran sangat kecil yang masih dapat mengalir (dalam ukuran mikroamper) yang disebut dengan arus bocor.

Ada dua hal yang menarik dalam kondisi panjar mundur tersebut, yaitu efek fotokonduktif dan *photovoltaic*. Fotokonduktif adalah gejala di mana apabila suhu dinaikkan, maka arus bocor pada panjar mundur juga meningkat. Kenaikan suhu yang dapat dianggap sebagai penambahan energi dapat juga diganti dengan cahaya sebagai salah satu bentuk energi. Penyerapan energi cahaya pada kondisi panjar mundur sehingga menghasilkan arus listrik pada *pn junction* ini disebut dengan efek

*photovoltaic*. Penjelasan secara grafik dapat dilihat pada Gambar 2.2. Jadi, sel surya pada dasarnya adalah sebuah fotodiode yang dirancang dengan mengacu pada efek *photovoltaic* sedemikian rupa, sehingga dapat mengubah energi cahaya seefisien mungkin menjadi energi listrik.

## 2.6 Elektroda

Elektroda adalah konduktor yang digunakan untuk bersentuhan dengan bagian atau media non-logam dari sebuah sirkuit (misal semikonduktor, elektrolit atau vakum). Ungkapan kata ini diciptakan oleh ilmuwan Michael Faraday dari bahasa Yunani elektron (berarti amber, dan hodos sebuah cara).

Elektroda ada 2 macam ;

- a. Elektroda inert, yaitu elektroda yang tidak mudah bereaksi. Unsur yang termasuk di dalam elektroda inert adalah yaitu platina (Pt), emas (Aurum/Au), dan karbon (C)
- b. Elektroda tak inert, yaitu elektroda yang mudah bereaksi. Unsur yang termasuk di dalam elektroda tak inert adalah zat lainnya selain Pt, C, dan Au. Elektroda yang digunakan dalam percobaan ini adalah carbon karena bersifat inert. Konduktivitas elektroda listrik dapat dilihat pada deret volta.

Elektroda adalah suatu sistem dua fase yang terdiri dari sebuah penghantar elektrolit (misalnya logam) dan sebuah penghantar ionik (larutan) (Rivai, 1995). Elektroda positif (+) disebut anoda sedangkan elektroda negatif (-) adalah katoda. Reaksi kimia yang terjadi pada elektroda selama terjadinya konduksi listrik disebut elektrolisis dan alat yang digunakan untuk reaksi ini disebut sel elektrolisis. Sel elektrolisis memerlukan energi untuk memompa elektron.

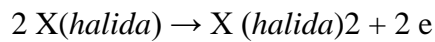
Pada anoda terjadi reaksi oksidasi, yaitu anion (ion negatif) ditarik oleh anoda sehingga jumlah elektronnya berkurang atau bilangan oksidasinya bertambah.

Jika elektroda inert (Pt, C, dan Au), ada 3 macam reaksi:

1. Jika anionnya sisa asam oksidasi (misalnya  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ), maka reaksinya  
$$2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 4\text{H}^+ + \text{O}_2 + 4\text{e}^-$$
2. Jika anionnya  $\text{OH}^-$ , maka reaksinya  $4\text{OH}^- \rightarrow 2\text{H}_2\text{O} + \text{O}_2 + 4\text{e}^-$

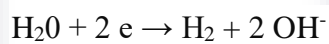


3. Jika anionnya berupa halida (F<sup>-</sup>, Cl<sup>-</sup>, Br<sup>-</sup>), maka reaksinya adalah



Pada katoda terjadi reaksi reduksi, yaitu kation (ion positif) ditarik oleh katoda dan menerima tambahan elektron, sehingga bilangan oksidasinya berkurang.

1. Jika kation merupakan logam golongan IA (Li, Na, K, Rb, Cs, Fr), IIA (Be, Mg, Cr, Sr, Ba, Ra), Al, dan Mn, maka reaksi yang terjadi adalah

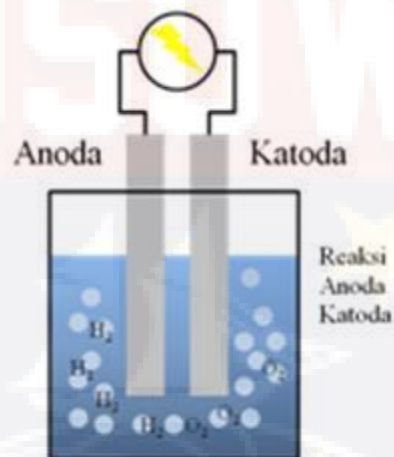


2. Jika kationnya berupa H<sup>+</sup>, maka reaksinya  $2H^+ + 2 e \rightarrow H_2$

3. Jika kation berupa logam lain, maka reaksinya



(sumber:<http://lifnid.wordpress.com/kelas-xii/2-redoks-dan-sel-elektrokimia/sel-elektrolisis/>)



Gambar 2 Reaksi Anoda dan Katoda

Sumber : <https://restukarmela.wordpress.com/category/video-dan-gambar/>

Adapun elektroda yang digunakan pada penelitian ini yaitu elektroda batang, spiral dan lembaran.





Gambar 3 Elektroda Lembaran



Gambar 4 Elektroda Spiral

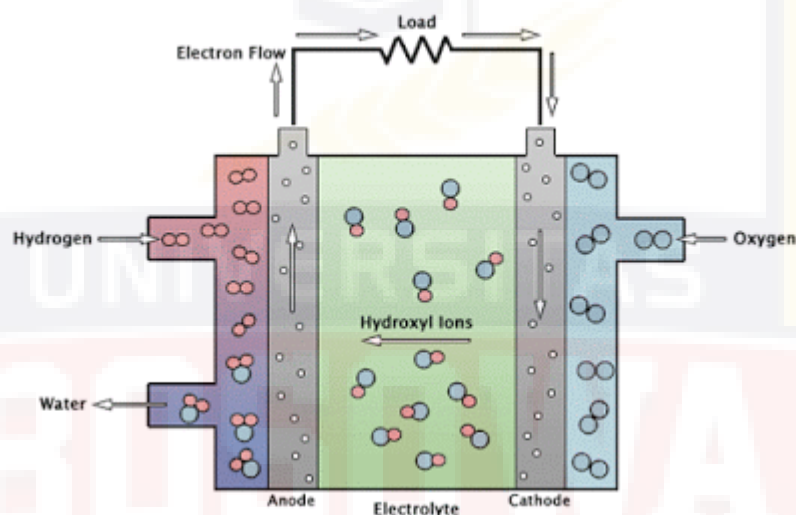


Gambar 5 Elektroda Batang

## 2.7 Bahan Bakar Hidrogen

Bahan bakar hidrogen adalah perangkat yang dirancang untuk mengubah energi kimia menjadi listrik. Jenis sumber ini energi dapat menjadi alternatif yang aman dan bersih dibanding penggunaan bahan bakar fosil untuk mobil atau mesin lainnya, karena limbannya yang relatif kecil, dimana karbon dioksida yang dihasilkan sangat kecil. Mekanisme dasar di balik hal-sel bahan bakar adalah

bahwa energi diciptakan dari reaksi ion hidrogen positif dan agen oksidasi, yang biasanya adalah oksigen. Tidak seperti baterai, sel bahan bakar hidrogen membutuhkan sumber terus menerus oksigen atau bahan bakar lain untuk menjaga agar reaksi kimia berkelanjutan, ini bisa juga berarti bahwa dia dapat terus berjalan selama mendapat pasokan yang esensial.



Gambar 6 sel bahan bakar

Hidrogen adalah unsur yang paling umum tersedia di planet bumi. Sebuah atom hidrogen hanya terdiri dari satu proton dan satu elektron. Meskipun tersedia dalam jumlah banyak, hidrogen tidak muncul sebagai di Bumi. Air, misalnya, mengandung dua atom hidrogen dan satu atom oksigen terikat bersama. Sebuah proses yang disebut elektrolisis diperlukan untuk memisahkan air menjadi komponen oksigen dan hidrogen.

Sebuah sel bahan bakar hidrogen menggabungkan hidrogen dan oksigen untuk menghasilkan listrik, panas, dan air. Karena energinya yang tinggi dan menghasilkan hampir tidak ada polusi, maka hidrogen digunakan sebagai bahan bakar untuk mendorong pesawat ruang angkasa dan roket ke orbit. Sel-sel ini mencatu sistem listrik di pesawat dan menghasilkan air bersih sebagai produk

sampingan. Sel ini menyediakan tegangan searah (DC) yang dapat digunakan untuk motor listrik dan menjalankan sejumlah peralatan listrik.

Kelebihan Sel Bahan Bakar Hidrogen

#### 1. Bahan Bakar Hidrogen Lebih efisien

Dibandingkan dengan metode tradisional dengan menggunakan bahan bakar fosil seperti batu bara dan gas - sel bahan bakar hidrogen jauh lebih efisien. Bahan bakar ini menghasilkan lebih banyak energi untuk jumlah komponen yang sama. Hal ini membuat mereka jauh lebih bersih daripada bahan bakar fosil, dikarenakan bahan bakar fosil menghasilkan lebih banyak bahan kimia dan karbon dioksida untuk mencapai jumlah yang sama energi.

#### 2. Sel Bahan Bakar Hidrogen yang "Tenang"

Pada saat pertambangan bahan bakar fosil mengeluarkan suara mesin yang berisik, sel bahan bakar hidrogen beroperasi diam-diam. Dibandingkan dengan mesin pembakaran internal di mobil, yang sangat bising, sel bahan bakar hidrogen tidak membuat suara apapun. (Jika ini adalah untuk digunakan untuk mobil, maka suara mesin buatan justru akan perlu ditambahkan untuk keselamatan pejalan kaki dan hewan.)

#### 3. Bahan Bakar Hidrogen Bebas Polusi

Dengan beralih dari pembakaran bahan bakar fosil ke penggunaan sel bahan bakar hidrogen, kita secara efektif akan beralih dari salah satu polutan terburuk ke penggunaan sumber energi bebas polutan. Selain sejumlah kecil karbon dioksida dan air, tidak ada oleh-produk atau produk-produk limbah ketika menggunakan sel bahan bakar hidrogen.

#### 4. Tidak Ada Hambatan Ekonomi Global

Bahan bakar fosil memang ditemukan di seluruh dunia, namun beberapa negara memiliki monopoli atas minyak dan gas. Ini berarti bahwa mereka dapat bernegosiasi dengan negara-negara lain tentang harga bahan bakar fosil dan bahkan dapat secara artifisial menaikkan harga, yang dirasakan oleh konsumen akhir. Di sisi lain, karena sel-sel bahan bakar hidrogen dapat dibuat di negara manapun dan tidak dimiliki oleh satu orang, perusahaan atau negara, mereka menyebabkan tidak ada masalah ekonomi global seperti yang dilakukan oleh

bahan bakar fosil. Ini berarti bahwa negara-negara di seluruh dunia dapat lebih mandiri dan tidak harus bergantung pada negara lain. Hidrogen menawarkan keamanan energi yang besar untuk setiap bangsa yang memilih untuk menggunakan sel bahan bakar hidrogen.

#### 5. Waktu Operasi Bahan Bakar Hidrogen Lebih Lama

Sel bahan bakar hidrogen cenderung bertahan lebih lama dari baterai normal lainnya yang menggunakan bahan kimia untuk menghasilkan energi. Karena menggandakan waktu operasi dari sel bahan bakar hidrogen berarti menggandakan jumlah bahan bakar lebih dari dua kali lipat kapasitas unit (seperti dengan baterai), jauh lebih mudah untuk membuat sel-sel bahan bakar menjalankan untuk waktu yang cukup lama tanpa perlu usaha ekstra..

#### 6. Tidak Perlu Tersambung ke Grid

Bahan bakar fosil didistribusikan melalui jaringan transmisi untuk memastikan bahwa semua orang yang membutuhkan energi mendapatkannya. Sel bahan bakar hidrogen dapat independen terhadap grid karena mereka dapat digunakan di mana saja yang memiliki sumber daya serta sumber air. Hal ini, pada gilirannya, berarti bahwa generasi bahan bakar oleh sel bahan bakar hidrogen dapat didistribusikan secara merata tanpa perlu grid terpusat.

### KEKURANGAN SEL BAHAN BAKAR HIDROGEN

Sel bahan bakar hidrogen juga memiliki kekurangan yang mencegah hidrogen menjadi sumber energi dunia. Meskipun ada banyak manfaat besar, ada beberapa kekurangan yang tampaknya lebih besar daripada kelebihan ini. Berikut kekurangan dari sel hidrogen yang menyebabkan pengembang dan ilmuwan masih bekerja keras, mengembangkan sel bahan bakar hidrogen yang lebih baik, lebih efisien dan aman sehingga segera mereka bisa menjadi alternatif untuk bahan bakar fosil.

#### 1. Bahan Bakar Hidrogen Mahal

Sayangnya, secara rata-rata biaya untuk membuat sel-sel ini jauh lebih mahal daripada mengebor, mentransportasikan, dan penyulingan bahan bakar fosil. Tentu saja, dalam beberapa tahun kedepan hidrogen bisa membayar biaya yang

dikeluarkan, akan tetapi biaya investasi awal sangat besar, yang bagi sebagian investor tidak cukup menguntungkan.

## 2. Pengembangan Bahan Bakar Hidrogen Tidak Bermanfaat bagi Perusahaan Besar

Perusahaan besar tentu tidak akan memberikan kontribusi untuk pengembangan sel bahan bakar hidrogen. Beberapa perusahaan terbesar di Amerika adalah mereka yang berurusan dengan bahan bakar fosil. Perusahaan ini berkepentingan mendistribusikan bahan bakar fosil dan, ketika bahan bakar fosil mulai habis maka harga akan naik dan mereka akan menanggung untung. Sel bahan bakar hidrogen yang menawarkan lebih sedikit uang untuk perusahaan tersebut dapat dilihat sebagai masalah bagi orang-orang bisnis.

## 3. Masih dibutuhkan studi lebih lanjut

Penelitian terhadap bahan bakar alternatif masih terus berjalan. Penemuan ilmiah di balik sel bahan bakar hidrogen masih relatif muda yang berarti bahwa masih banyak hal yang belum diuji. Ini berarti bahwa pasar energi tidak akan melihat sel bahan bakar hidrogen sebagai alternatif untuk listrik bahan bakar fosil utama atau energi nuklir bahkan beberapa tahun lagi.

## 4. Bahan Bakar Hidrogen Tidak Terlalu Kuat

Tidak seperti batubara, gas dan minyak, sel bahan bakar hidrogen tidak terlalu kuat. Karena cara kerja halus dan rumit yang mereka butuhkan, mereka lebih peka terhadap lingkungan sekitar, peralatan, kontaminasi dan suhu dapat menurunkan kinerjanya. Dalam kasus tertentu, mereka tidak dapat digunakan dalam keadaan sangat panas atau sangat dingin dan, jika masalah ini tidak diselesaikan, ini akan akhirnya berarti bahwa tempat-tempat yang sering memiliki temperatur ekstrim dingin atau panas tidak akan mendapatkan keuntungan dari teknologi ini..

## 5. Isu keamanan Bahan Bakar Hidrogen pada mobil

Ide utama sejauh untuk pelaksanaan sel bahan bakar hidrogen ke dalam kehidupan sehari-hari adalah untuk menempatkan mereka ke dalam mobil. Secara teoritis teknologi ini telah dikembangkan dan dapat bekerja sempurna. Satu-satunya masalah nyata adalah masalah keamanan. Hidrogen sangat mudah

terbakar - lebih daripada bahan bakar biasa - dan lebih sulit untuk mengandung dari minyak. Ini berarti bahwa setiap mobil dilengkapi dengan sel bahan bakar hidrogen jauh lebih mungkin untuk meledakkan atau dibakar jika terkena panas ekstrim, jika rusak atau jika terlalu panas. Masalah keamanan ini jelas masalah besar bagi mereka yang berharap untuk menempatkan sel ini sebagai bahan bakar baru pada kendaraan mereka.



## BAB III METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini direncanakan akan dilaksanakan selama 2 bulan pada bulan juli sampai dengan September 2018 di laboratorium Kimia Universitas Bosowa Makassar

### 3.2 Alat dan Bahan Penelitian

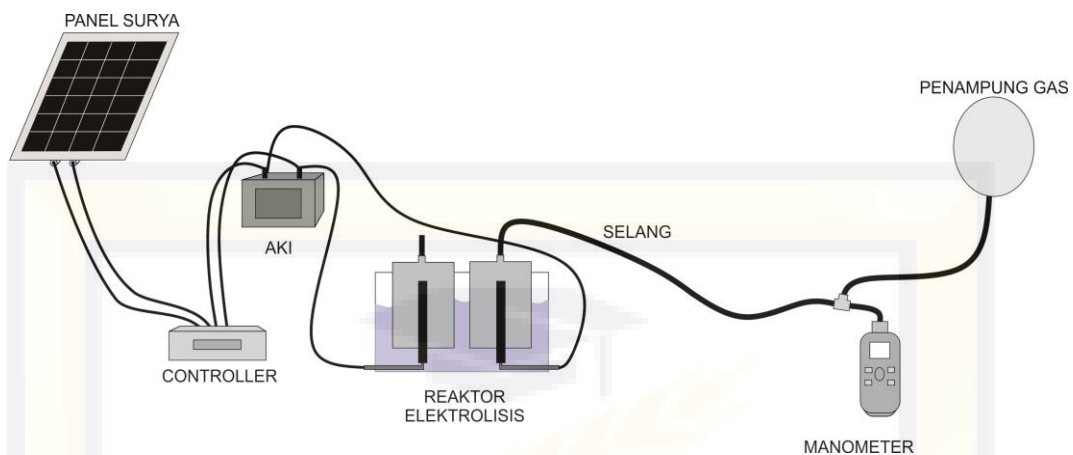
Adapun Alat dan Bahan baku yang digunakan dalam penelitian ini:

a. Bahan

1. Katalis KOH
2. Aquades

b. Alat

1. Panel surya
2. Aki
3. Elektroda
4. Controller
5. Reaktor elektrolisis
6. Pengukur tekanan
7. Kabel
8. Stopwatch
9. Gelas ukur
10. Sambungan T
11. Penampung Gas



Gambar 7 Rangkaian Alat Elektrolisis

### 3.3 Metode Penelitian

#### 3.3.1 Pengisian Daya Aki

Selanjutnya adalah mengisi daya aki yang dihubungkan dengan panel surya yang juga dihubungkan dengan controller yang berfungsi untuk mengontrol pengisian daya aki.

#### 3.3.2 Pemasangan rangkaian alat

Setelah daya aki terisi, selanjutnya aki dihubungkan ke reaktor elektrolisis dengan menggunakan kabel dan penjepit aki. Sambungkan pula selang dari reaktor elektrolisis ke balon untuk menampung gas hidrogen dan alat pengukur tekanan gas (Manometer).. Pastikan tidak ada kebocoran sedikitpun untuk mendapatkan hasil yang maksimal.

#### 3.3.3 Proses pembuatan Gas Hidrogen

##### a. Elektroda Lembaran

- Pertama-tama siapkan aquades sebanyak 1500 ml dan 75 gram KOH.
- Pada reaktor elektrolisis masukkan elektroda lembaran
- Kemudian masukkan aquades sebanyak 1500 ml ke dalam reaktor elektrolisis, setelah itu tambahkan 75 gram KOH
- Setelah itu tutup rapat-rapat reaktor elektrolisis
- Sambungkan aki dan reaktor elektrolisis untuk proses pembuatan gas hidrogen dan stopwatch dijalankan sampai 1 jam
- Catat perubahan tekanan setiap 10 menit.



b. Elektroda spiral

- Ulangi percobaan di atas dengan menggunakan elektroda spiral

c. Elektroda batang

- Ulangi percobaan (a) dengan menggunakan elektroda batang

#### 3.4 Diagram Alir Penelitian

Persiapan Alat dan Bahan



Pengisian Daya Aki



Pengisian Daya Aki



Pembuatan Gas



Hasil



Selesai

### 3.5 Jadwal Pelaksanaan Penelitian

No	Kegiatan	Agustus		September				Oktober	
		3	4	1	2	3	4	1	2
1	Seminar Proposal								
2	Persiapan Alat dan Bahan								
3	Perangkaian alat dan pengisian daya aki								
4	Pembuatan Gas Hidrogen								
5	Analisa data dan kesimpulan								
6	Seminar Hasil								

**BOSOWA**

**BAB IV**  
**HASIL DAN PEMBAHASAN**

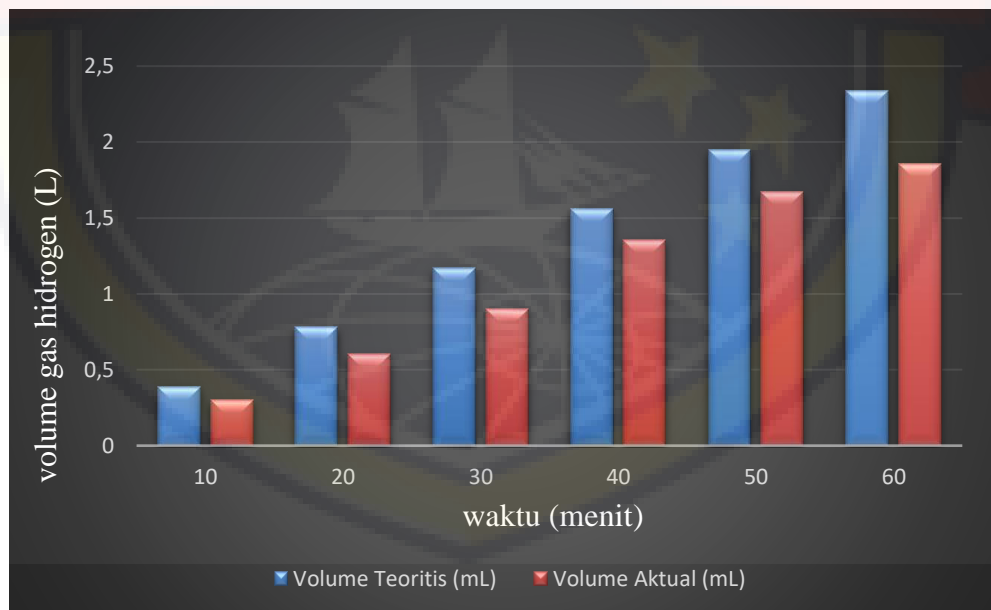
4. Analisa Data

1. Percobaan Menggunakan Elektroda Lembaran

Pada percobaan ini, didapatkan hasil sebagai berikut:

Tabel 1 hasil elektrolisis menggunakan elektroda lembaran

Waktu (Menit)	Tekanan (Atm)	Suhu ( $^{\circ}$ C)	Volume Teoritis (L)	Volume Aktual (L)
10	1,005	31	0,3898	0,3014
20	1,0051	31	0,7798	0,6028
30	1,0051	31	1,1697	0,9043
40	1,0052	31	1,5598	1,3564
50	1,0053	31	1,9500	1,6676
60	1,0055	31	2,3405	1,8588



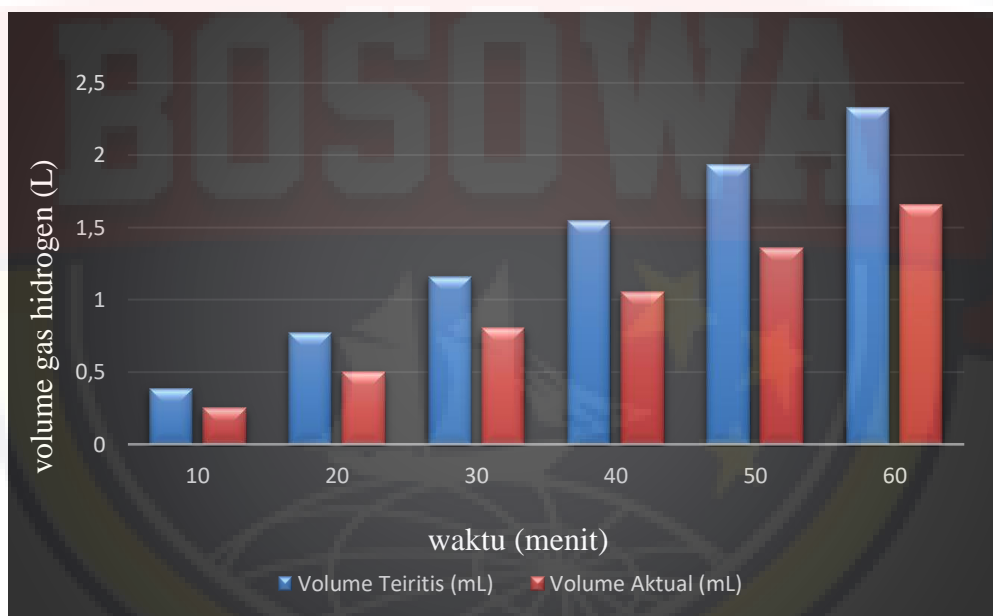
Gambar 11 Diagram hasil elektrolisis menggunakan elektroda lembaran

## 2. Percobaan Menggunakan Elektroda Spiral

Pada percobaan ini, didapatkan hasil sebagai berikut:

Tabel 2 Hasil elektrolisis Menggunakan Elektroda Spiral

Waktu (Menit)	Tekanan (Atm)	Suhu ( $^{\circ}$ C)	Volume Teiritis (L)	Volume Aktual (L)
10	1,0048	29,5	0,3878	0,2512
20	1,005	29,5	0,7759	0,5024
30	1,005	29	1,1619	0,8038
40	1,005	29	1,5408	1,0550
50	1,0051	29	1,9368	1,3564
60	1,0051	29,5	2,3280	1,6579



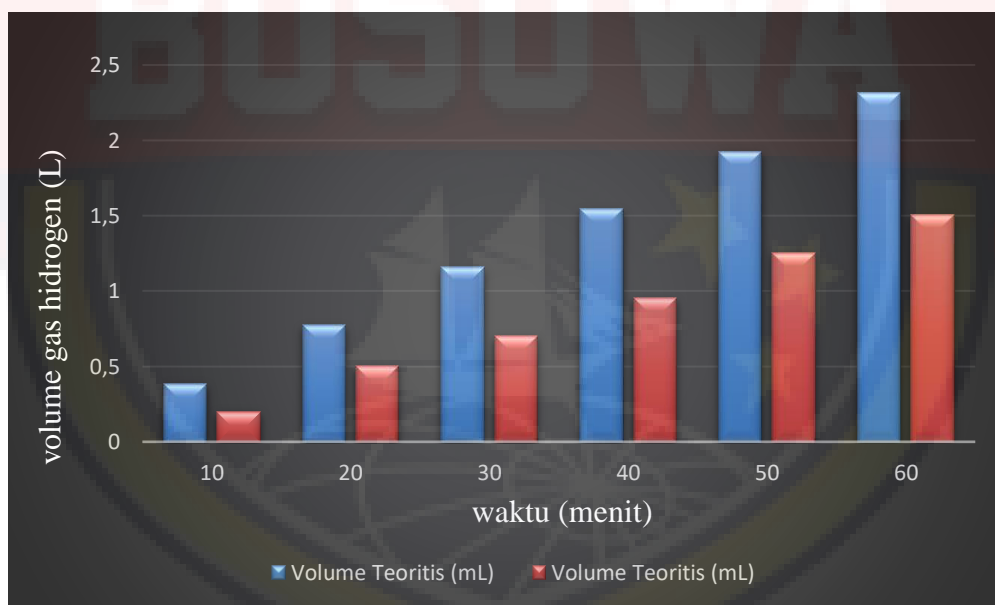
Gambar 12 Diagram hasil elektrolisis menggunakan Elektroda Spiral

### 3. Percobaan Menggunakan Elektroda Batang

Pada percobaan ini, didapatkan hasil sebagai berikut:

Tabel 3 Hasil elektrolisis Menggunakan Elektroda Batang

Waktu (Menit)	Tekanan (Atm)	Suhu ( $^{\circ}\text{C}$ )	Volume Teoritis (L)	Volume Teoritis (L)
10	1,0048	29	0,3872	0,2009
20	1,0048	28,5	0,7773	0,5024
30	1,005	28	1,1581	0,7033
40	1,005	28	1,5404	0,9545
50	1,005	27,5	1,9270	1,256
60	1,0051	27,5	2,3126	1,507

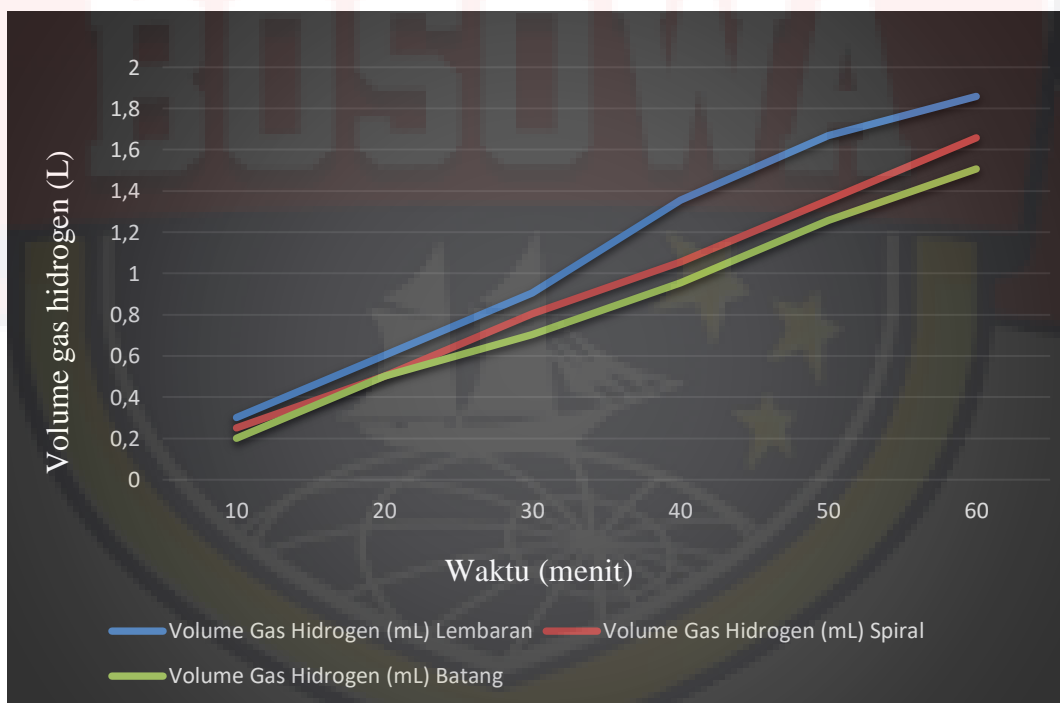


Gambar 13 Diagram hasil elektrolisis menggunakan Elektroda Batang

## 4.2 Pembahasan

Tegangan (volt)	Waktu (Menit)	Volume Gas Hidrogen (L)		
		Lembaran	Spiral	Batang
12	10	0,3014	0,2512	0,2009
	20	0,6028	0,5024	0,5024
	30	0,9043	0,8038	0,7033
	40	1,3564	1,0550	0,9545
	50	1,6676	1,3564	1,256
	60	1,8588	1,6579	1,507

Tabel 4 Hasil elektrolisis Menggunakan Elektroda Lembaran, Spiral dan Batang



Gambar 14 Diagram hasil elektrolisis ketiga elektroda

Larutan KOH merupakan senyawa larutan kimia dengan melarutkan KOH ke dalam air. Reaksi kimia yang terjadi pada larutan tersebut adalah sebagai berikut:



Reaksi kimia tersebut menunjukkan jika KOH dilarutkan ke dalam air dan kemudian di elektrolisis, maka akan terjadi penguraian senyawa yang terjadi yaitu  $\text{K}_2$  yang berupa padatan akan tetap bertahan di dalam larutan sedangkan  $\text{H}_2$  dan  $\text{O}_2$  akan keluar menguap ke udara. Gas hidrogen inilah yang kemudian ditampung.

Konsentrasi larutan merupakan nilai kepekatan kandungan zat atau senyawa yang dilarutkan ke dalam air. Semakin banyak zat atau senyawa yang dilarutkan ke dalam air maka akan semakin pekat larutan tersebut. Semakin pekat larutan KOH maka akan membuat besarnya hambatan listrik pada larutan akan semakin kecil dan akan mendekati nol. Gejala ini berarti menunjukkan semakin besar konsentrasi larutan ketika proses elektrolisis maka semakin besar pula volume gas yang di hasilkan sehingga untuk menghasilkan gas  $\text{H}_2$  dalam jumlah banyak hal yang harus dilakukan adalah dengan memperbesar konsentrasi larutan. Begitu pula dengan arus. Besarnya arus sangat mempengaruhi proses terjadinya elektrolisis. Arus yang pada umumnya kurang dari 1 ampere sangat sulit dijumpai gelembung-gelembung di permukaan elektroda. Semakin besar arus yang diberikan maka semakin cepat munculnya gelembung-gelembung di permukaan elektroda. Sehingga untuk menghasilkan gas  $\text{H}_2$  dalam jumlah banyak hal yang harus dilakukan adalah dengan memperbesar arus.

Pada penelitian ini jenis elektroda digunakan ada 3 yaitu elektroda lembaran, spiral dan batang. Elektroda bentuk lembaran memberikan hasil yang lebih tinggi dalam produksi gas hidrogen dibandingkan dengan jenis elektroda spiral dan batang. Pada elektroda lembaran memiliki luas permukaan yang lebih luas dibandingkan dengan elektroda spiral dan batang. Sehingga pada elektroda lembaran menghasilkan gelembung yang banyak karena gelembung menempati semua ruang yang ada pada elektroda lembaran

sehingga gas yang dihasilkan lebih banyak. Pada elektroda spiral memiliki ruang yang kosong dan luas permukaan yang lebih kecil dari elektroda lembaran sehingga gelembung yang dihasilkan juga sedikit salah satu faktor adalah bentuknya sehingga gelembung hanya menempati dan mengikuti bentuk elektroda. Sedangkan pada elektroda batang memiliki luas permukaan yang lebih kecil dibandingkan dengan elektroda lembaran dan spiral sehingga gelembung dan gas yang dihasilkan sedikit. Melihat hasil yang telah diperoleh maka pilihan elektroda bentuk lembaran merupakan pilihan utama.





## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat diambil kesimpulan bahwa elektroda bentuk lembaran memberikan hasil yang lebih tinggi dalam produksi gas hidrogen dibandingkan dengan jenis elektroda spiral dan batang. Karena pada elektroda lembaran memiliki luas permukaan yang lebih luas dibandingkan dengan elektroda spiral dan batang. Sehingga pada elektroda lembaran menghasilkan gelembung yang banyak karena gelembung menempati semua ruang yang ada pada elektroda lembaran sehingga gas yang dihasilkan lebih banyak. Adapun produksi gas hidrogen yang dihasilkan selama 1 jam menggunakan elektroda lembaran secara teori 2,3405 liter dan aktual 1,8588 liter dan produksi gas hidrogen menggunakan elektroda spiral secara teori 2,3280 liter dan aktual 1,6579 liter sedangkan produksi gas hidrogen menggunakan elektroda batang secara teori 2,3126 liter dan aktual 1,507. Sehingga elektroda bentuk lembaran merupakan pilihan utama untuk proses elektrolisis.

#### 5.2 Saran

Sehubungan dengan penelitian ini maka disarankan kepada peneliti selanjutnya untuk :

1. Sebaiknya melakukan penelitian pada pertengahan tahun agar pemanfaatan energi surya sebagai sumber energinya dapat maksimal.
2. Perlu diadakan penelitian lebih lanjut dengan menambah variasi konsenrasi katalis maupun variasi arus yang digunakan.

## DAFTAR PUSTAKA

- Abdurrohman Afief, Isana SYL (2017). Produksi Gas Hidrogen Menggunakan Elektroda Stainless Steel/Fe-Co-Ni Dengan Media Tepung Biji Rambutan (*Nephelium lappaceum l.*). Jurusan Pendidikan Kimia FMIPA Universitas Negeri Yogyakarta
- Alimah, S., dan Dewita, E., (2008). Pemilihan Teknologi Produksi Hidrogen Dengan Memanfaatkan Energi Nuklir, Jurnal Pengembangan Energi Nuklir, 10(2) : 123-132.
- Arbie Marwan Putra (2010). Analisis Produktifitas Hidrogen Dan Gas Oksigen Pada Elektrolisis Larutan KOH. Jurusan Teknik Mesin Program Studi Teknik Konversi Energi Politeknik Negeri Semarang
- Dedy Pradigdo, Sudjito. S, Agung SugengW.(2017). Pengaruh Luasan Elektrode Stainless Steel Terhadap Produksi Gas Hho Pada Proses Elektrolisis Menggunakan Baterai 12 Volt 70 AH. Sekolah Tinggi Teknologi Nasional Yogyakarta
- Ena Marlina, Slamet Wahyudi, Lilis Yuliati (2013). Produksi Brown's Gas Hasil Elektrolisis H<sub>2</sub>O Dengan Katalis NaHCO<sub>3</sub>. Jurnal Rekayasa Mesin Vol.4, No.1 (53-58)
- Habibah Akmal, Hesti Diana Wahyuni, Ken Putri Kinanti KSP (2014). Laporan Praktikum Satuan Proses 1 Pembuatan Gas Hidrogen (H<sub>2</sub>) Dengan Bahan Dasar Air Secara Elektrolisis. Program Studi D-IV Teknik Kimia Produksi Bersih Politeknik Negeri Bandung
- I Nyoman Budiartana, I Ketut Adi (2013). Produksi Gas Dengan Proses Elektrolisis Dalam Pembuatan Generator Gas Hho, Elektroda Lembaran Dan Spiral Dengan Katalis NaOH, NaCl Dan NaHCO<sub>3</sub>. Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Bali
- Kodoatie, J.R., dan Roeslam S. 2010. Tata Ruang Air. Yogyakarta: Andi.

Linsley, R. K., Franzini, J.B., 1991, Teknik Sumberdaya Air Jilid 1, Erlangga, Jakarta

Muhammad Thowil Afif, Denny Widhiyanuriyawan, Khairul Anam (2017). Produksi Brown's Gas Pada Eletrolizer Tipe Drycell Dengan Material Elektroda Berbeda. Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya

Neni, Muliawati. (2008). Hidrogen Sebagai Sel Bahan Bakar Sumber Energi Masa Depan. Lampung: Universitas Lampung.

Ni Made Ayu Yasmitha Andewi, Wahyono Hadi (2009). Produksi Gas Hidrogen Melalui Proses Elektrolisis Air Sebagai Sumber Energi. Jurusan Teknik Lingkungan-FTSP-ITS

Rifqi Mahaputra Rachman (2016). Pengaruh Prosentase Koh Terhadap Produksi Brown's Gas Dalam Proses Elektrolisis Dengan Menggunakan Elektroliser Dry Cell. Program Studi Teknik Mesin Universitas Islam Malang.

Rivai, Harrizul. 1995. Asas Pemeriksaan Kimia. Jakarta: UI-Press

Slamet, 2002. Kesehatan Lingkungan. Gadjah Mada University Press. Yogyakarta.

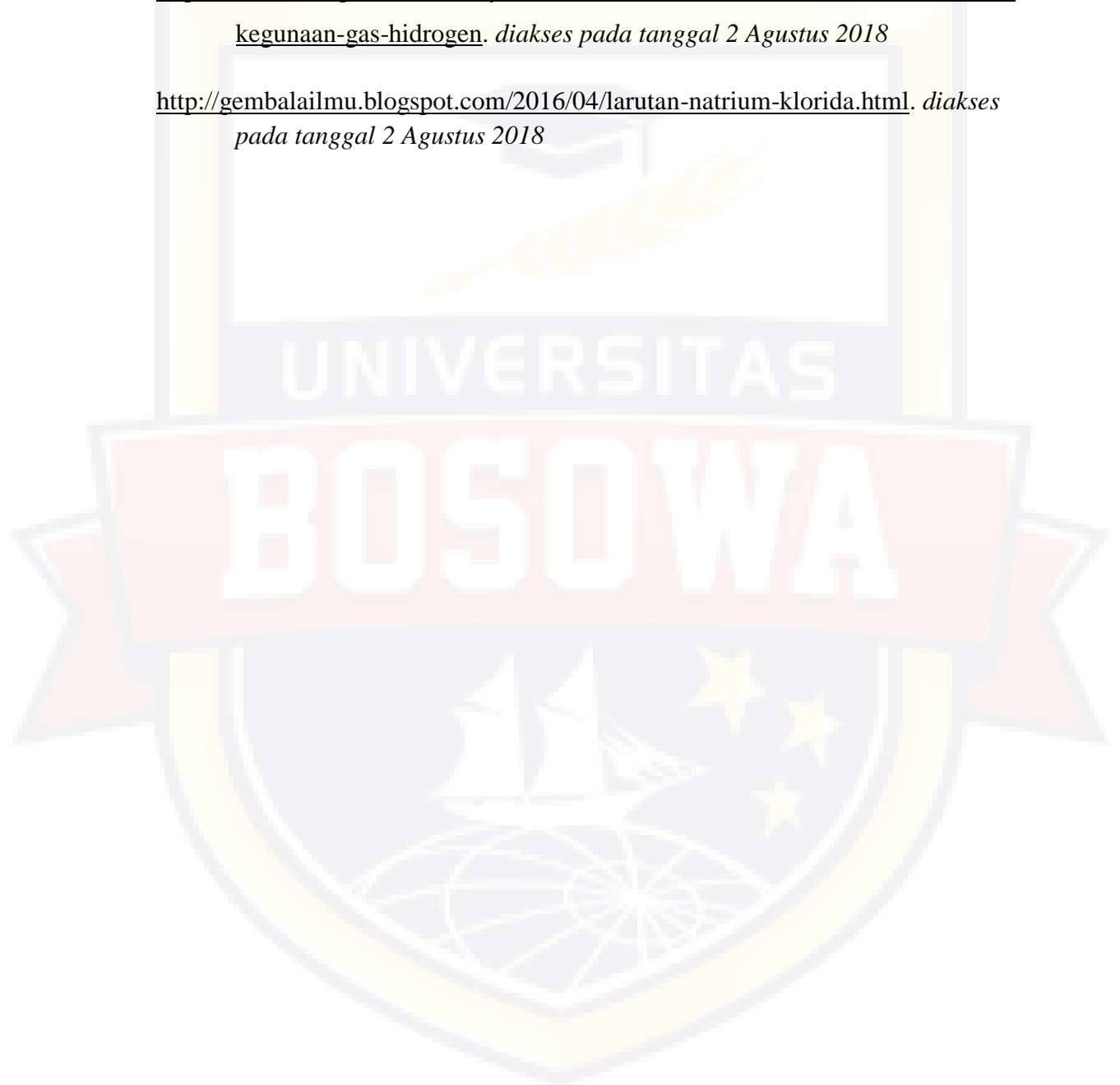
Tasrif Arifin, Bayu Rudiyanto, Yuana Susmiati (2015). Studi Penggunaan Plat Elektroda Netral Stainless Steel 316 Dan Aluminium Terhadap Performa Generator Hho Dry Cell. Teknik Energi Terbarukan, Jurusan Teknik, Politeknik Negeri Jember

Wahyono, Anis Roihatin (2016). Pembuatan Alat Produksi Gas Hidrogen Dan Oksigen Tipe Wett Cell Dengan Variasi Luas Penampang. Jurnal Teknik Energi Vol 12 No. 1

<http://anekailmu.blogspot.com/2009/04/pembuatan-gas-hidrogen-h2.html>. diakses pada tanggal 2 Agustus 2018

<https://www.kompasiana.com/sylva25/552a691ff17e61dd08d623f1/manfaat-dan-kegunaan-gas-hidrogen>. diakses pada tanggal 2 Agustus 2018

<http://gembalailmu.blogspot.com/2016/04/larutan-natrium-klorida.html>. diakses pada tanggal 2 Agustus 2018



## LAMPIRAN PERHITUNGAN

Secara teori untuk menghitung massa (M) hasil elektrolisis air mengikuti persamaan Faraday yaitu:

$$M = \frac{Q \times A \times 1}{n \times F}$$

Dimana:

- M = massa yang dihasilkan (g)
- Q = jumlah muatan listrik (C)
- Q = I x t
- I = besar arus (A)
- T = waktu (s)
- n = perubahan bilangan oksidasi
- A = massa atom relatif (g/mol)
- F = konstanta faraday = 96.500 C

Sedangkan untuk menghitung volume gas (V) hasil elektrolisis mengikuti persamaan Gas Ideal yaitu:

$$PV = nRT \text{ atau } V = \frac{nRT}{P}$$

Dimana:

- V = Volume gas (L)
- P = Tekanan (atm)
- R = 0,0821 (L atm/K mol )
- T = Temperatur (K)
- T = waktu (s)
- n = jumlah zat (mol)
- n = M/Mr
- Mr = massa molekul relatif (g/mol)
- M = massa zat (g)

### 1. Perhitungan Elektroda Lembaran

Waktu	Suhu (°C)	Tekanan (Atm)
10	31	1,005
20	31	1,0051
30	31	1,0051
40	31	1,0052
50	31	1,0053
60	31	1,0055

- Untuk  $t = 10$  menit = 600 s

Dik:  $P = 1,00385$  atm

$T = 304$  K

$I = 5$  A(C/s)

$F = 96.500$  C

$$M = \frac{Q \times A \times 1}{n \times F}$$

$$= \frac{5 \frac{\text{C}}{\text{s}} \times 600 \text{ s} \times 1 \frac{\text{g}}{\text{mol}} \times 1}{1 \frac{1}{\text{mol}} \times 96.500 \text{ C}}$$

$$= 0,0310 \text{ g}$$

$$V = \frac{nRT}{P}$$

$$= \frac{0,0310 \text{ g} \times 0,0821 \frac{\text{L atm}}{\text{K mol}} \times 304 \text{ K}}{2 \times \frac{1}{\text{mol}} \times 1,005 \text{ atm}}$$

$$= 0,3898 \text{ L}$$

- Untuk  $t = 20$  menit = 1200 s

Dik:  $P = 1,0051$  atm

$T = 304$  K

$I = 5$  A(C/s)

$F = 96.500$  C

$$M = \frac{Q \times A \times 1}{n \times F}$$

$$= \frac{5 \frac{\text{C}}{\text{s}} \times 1200 \text{ s} \times 1 \frac{\text{g}}{\text{mol}} \times 1}{1 \frac{1}{\text{mol}} \times 96.500 \text{ C}}$$

$$= 0,0621 \text{ g}$$

$$V = \frac{nRT}{P}$$

$$= \frac{0,062176166 \text{ g} \times 0,0821 \frac{\text{L atm}}{\text{K mol}} \times 304 \text{ K}}{2 \times \frac{1}{\text{mol}} \times 1,0051 \text{ atm}}$$

$$= 0,7798 \text{ L}$$

- Untuk t = 30 menit = 1800 s

Dik: P = 1,0051 atm

T = 304 K

I = 5 A(C/s)

F = 96.500 C

$$M = \frac{Q \times A \times 1}{n \times F}$$

$$= \frac{5 \frac{\text{C}}{\text{s}} \times 1800 \text{ s} \times 1 \frac{\text{g}}{\text{mol}} \times 1}{1 \frac{1}{\text{mol}} \times 96.500 \text{ C}}$$

$$= 0,0932 \text{ g}$$

$$V = \frac{nRT}{P}$$

$$= \frac{0,093264249 \text{ g} \times 0,0821 \frac{\text{L atm}}{\text{K mol}} \times 304 \text{ K}}{2 \times \frac{1}{\text{mol}} \times 1,0051 \text{ atm}}$$

$$= 1,1697 \text{ L}$$

- Untuk t = 40 menit = 24000 s

Dik: P = 1,0052 atm

T = 304 K

I = 5 A(C/s)

F = 96.500 C

$$M = \frac{Q \times A \times 1}{n \times F}$$

$$= \frac{5 \frac{\text{C}}{\text{s}} \times 2400 \text{ s} \times 1 \frac{\text{g}}{\text{mol}} \times 1}{1 \frac{1}{\text{mol}} \times 96.500 \text{ C}}$$

$$= 0,1243 \text{ g}$$

$$V = \frac{nRT}{P}$$

$$= \frac{0,124352332 \text{ g} \times 0,0821 \frac{\text{L atm}}{\text{K mol}} \times 304 \text{ K}}{2 \times \frac{1}{\text{mol}} \times 1,0052 \text{ atm}}$$

$$= 1,5598 \text{ L}$$

- Untuk t = 50 menit = 3000 s

Dik: P = 1,0053 atm

T = 304 K

I = 5 A(C/s)

F = 96.500 C

$$M = \frac{Q \times A \times 1}{n \times F}$$

$$= \frac{5 \frac{\text{C}}{\text{s}} \times 3000 \text{ s} \times 1 \frac{\text{g}}{\text{mol}} \times 1}{1 \frac{1}{\text{mol}} \times 96.500 \text{ C}}$$

$$= 0,1554 \text{ g}$$

$$V = \frac{nRT}{P}$$

$$= \frac{0,155440415 \text{ g} \times 0,0821 \frac{\text{L atm}}{\text{K mol}} \times 304 \text{ K}}{2 \times \frac{1}{\text{mol}} \times 1,0053 \text{ atm}}$$

$$= 1,9500 \text{ L}$$

- Untuk t = 60 menit = 3600 s

Dik: P = 1,0055 atm

T = 304 K

I = 5 A(C/s)

F = 96.500 C

$$M = \frac{Q \times A \times 1}{n \times F}$$



$$= \frac{5 \frac{\text{C}}{\text{s}} \times 3600 \text{ s} \times 1 \frac{\text{g}}{\text{mol}} \times 1}{1 \frac{1}{\text{mol}} \times 96.500 \text{ C}}$$

$$= 0,1865 \text{ g}$$

$$V = \frac{nRT}{P}$$

$$= \frac{0,18652849 \text{ g} \times 0,0821 \frac{\text{L atm}}{\text{K mol}} \times 304 \text{ K}}{2 \times \frac{1}{\text{mol}} \times 1,0055 \text{ atm}}$$

$$= 2,3405 \text{ L}$$

2. Perhitungan Volume elektroda spiral

- Untuk  $t = 10$  menit = 600 s

Dik:  $P = 1,0048 \text{ atm}$

$T = 302,5 \text{ K}$

$I = 5 \text{ A(C/s)}$

$F = 96.500 \text{ C}$

$$M = \frac{Q \times A \times 1}{n \times F}$$

$$= \frac{5 \frac{\text{C}}{\text{s}} \times 600 \text{ s} \times 1 \frac{\text{g}}{\text{mol}} \times 1}{1 \frac{1}{\text{mol}} \times 96.500 \text{ C}}$$

$$= 0,0310 \text{ g}$$

$$V = \frac{nRT}{P}$$

$$= \frac{0,031088083 \text{ g} \times 0,0821 \frac{\text{L atm}}{\text{K mol}} \times 302,5 \text{ K}}{2 \times \frac{1}{\text{mol}} \times 1,0048 \text{ atm}}$$

$$= 0.3878 \text{ L}$$

- Untuk  $t = 20$  menit = 1200 s

Dik:  $P = 1,005 \text{ atm}$

$T = 302,5 \text{ K}$

$I = 5 \text{ A(C/s)}$

$F = 96.500 \text{ C}$

$$M = \frac{Q \times A \times 1}{n \times F}$$

$$= \frac{5 \frac{\text{C}}{\text{s}} \times 1200 \text{ s} \times 1 \frac{\text{g}}{\text{mol}} \times 1}{1 \frac{1}{\text{mol}} \times 96.500 \text{ C}}$$

$$= 0,0621 \text{ g}$$

$$V = \frac{nRT}{P}$$

$$= \frac{0,062176166 \text{ g} \times 0,0821 \frac{\text{L atm}}{\text{K mol}} \times 302,5 \text{ K}}{2 \times \frac{1}{\text{mol}} \times 1,005 \text{ atm}}$$

$$= 0,7759 \text{ L}$$

- Untuk t = 30 menit = 1800 s

Dik: P = 1,00447 atm

T = 302 K

I = 5 A(C/s)

F = 96.500 C

$$M = \frac{Q \times A \times 1}{n \times F}$$

$$= \frac{5 \frac{\text{C}}{\text{s}} \times 1800 \text{ s} \times 1 \frac{\text{g}}{\text{mol}} \times 1}{1 \frac{1}{\text{mol}} \times 96.500 \text{ C}}$$

$$= 0,0932 \text{ g}$$

$$V = \frac{nRT}{P}$$

$$= \frac{0,093264249 \text{ g} \times 0,0821 \frac{\text{L atm}}{\text{K mol}} \times 302 \text{ K}}{2 \times \frac{1}{\text{mol}} \times 1,005 \text{ atm}}$$

$$= 1,1619 \text{ L}$$

- Untuk t = 40 menit = 24000 s

Dik: P = 1,005 atm

T = 302 K

I = 5 A(C/s)

F = 96.500 C

$$M = \frac{Q \times A \times 1}{n \times F}$$

$$= \frac{5 \frac{\text{C}}{\text{s}} \times 2400 \text{ s} \times 1 \frac{\text{g}}{\text{mol}} \times 1}{1 \frac{1}{\text{mol}} \times 96.500 \text{ C}}$$

$$= 0,1243 \text{ g}$$

$$V = \frac{nRT}{P}$$

$$= \frac{0,124352332 \text{ g} \times 0,0821 \frac{\text{L atm}}{\text{K mol}} \times 302 \text{ K}}{1,005 \text{ atm}}$$

$$= 1,5408 \text{ L}$$

- Untuk t = 50 menit = 3000 s

Dik: P = 1,0051 atm

T = 302 K

I = 5 A(C/s)

F = 96.500 C

$$M = \frac{Q \times A \times 1}{n \times F}$$

$$= \frac{5 \frac{\text{C}}{\text{s}} \times 3000 \text{ s} \times 1 \frac{\text{g}}{\text{mol}} \times 1}{1 \frac{1}{\text{mol}} \times 96.500 \text{ C}}$$

$$= 0,1554 \text{ g}$$

$$V = \frac{nRT}{P}$$

$$= \frac{0,155440415 \text{ g} \times 0,0821 \frac{\text{L atm}}{\text{K mol}} \times 302 \text{ K}}{2 \times \frac{1}{\text{mol}} \times 1,0051 \text{ atm}}$$

$$= 1,9368 \text{ L}$$

- Untuk t = 60 menit = 3600 s

Dik: P = 1,0051 atm

T = 302,5 K

I = 5 A(C/s)

F = 96.500 C

$$M = \frac{Q \times A \times 1}{n \times F}$$

$$\frac{5 \frac{\text{C}}{\text{s}} \times 3600 \text{ s} \times 1 \frac{\text{g}}{\text{mol}} \times 1}{1 \frac{1}{\text{mol}} \times 96.500 \text{ C}} =$$

$$= 0,18652849 \text{ g}$$

$$V = \frac{nRT}{P}$$

$$= \frac{0,18652849 \text{ g} \times 0,0821 \frac{\text{L atm}}{\text{K mol}} \times 302,5 \text{ K}}{2 \times \frac{1}{\text{mol}} \times 1,0051 \text{ atm}}$$

$$= 2,3280 \text{ L}$$

### 3. Perhitungan Volume Elektroda Batang

- Untuk  $t = 10$  menit = 600 s

Dik:  $P = 1,0048 \text{ atm}$

$T = 302 \text{ K}$

$I = 5 \text{ A(C/s)}$

$F = 96.500 \text{ C}$

$$M = \frac{Q \times A \times 1}{n \times F}$$

$$= \frac{5 \frac{\text{C}}{\text{s}} \times 600 \text{ s} \times 1 \frac{\text{g}}{\text{mol}} \times 1}{1 \frac{1}{\text{mol}} \times 96.500 \text{ C}}$$

$$= 0,031088083 \text{ g}$$

$$V = \frac{nRT}{P}$$

$$= \frac{0,031088083 \text{ g} \times 0,0821 \frac{\text{L atm}}{\text{K mol}} \times 302 \text{ K}}{2 \times \frac{1}{\text{mol}} \times 1,0048 \text{ atm}}$$

$$= 0,3872 \text{ L}$$

- Untuk  $t = 20$  menit = 1200 s

Dik:  $P = 1,0048 \text{ atm}$

$T = 301,5 \text{ K}$

$I = 5 \text{ A(C/s)}$

$F = 96.500 \text{ C}$

$$M = \frac{Q \times A \times 1}{n \times F}$$

$$= \frac{5 \frac{\text{C}}{\text{s}} \times 1200 \text{ s} \times 1 \frac{\text{g}}{\text{mol}} \times 1}{1 \frac{1}{\text{mol}} \times 96.500 \text{ C}}$$

$$= 0,0621 \text{ g}$$

$$V = \frac{nRT}{P}$$

$$= \frac{0,062176166 \text{ g} \times 0,0821 \frac{\text{L atm}}{\text{K mol}} \times 301,5 \text{ K}}{2 \times \frac{1}{\text{mol}} \times 1,0048 \text{ atm}}$$

$$= 0,77732 \text{ L}$$

- Untuk t = 30 menit = 1800 s

Dik: P = 1,005 atm

T = 301 K

I = 5 A(C/s)

F = 96.500 C

$$M = \frac{Q \times A \times 1}{n \times F}$$

$$= \frac{5 \frac{\text{C}}{\text{s}} \times 1800 \text{ s} \times 1 \frac{\text{g}}{\text{mol}} \times 1}{1 \frac{1}{\text{mol}} \times 96.500 \text{ C}}$$

$$= 0,0932 \text{ g}$$

$$V = \frac{nRT}{P}$$

$$= \frac{0,093264249 \text{ g} \times 0,0821 \frac{\text{L atm}}{\text{K mol}} \times 301 \text{ K}}{2 \times \frac{1}{\text{mol}} \times 1,005 \text{ atm}}$$

$$= 1,1581 \text{ L}$$

- Untuk t = 40 menit = 2400 s

Dik: P = 1,005 atm

T = 301 K

I = 5 A(C/s)

F = 96.500 C

$$M = \frac{Q \times A \times 1}{n \times F}$$

$$= \frac{5 \frac{\text{C}}{\text{s}} \times 2400 \text{ s} \times 1 \frac{\text{g}}{\text{mol}} \times 1}{1 \frac{1}{\text{mol}} \times 96.500 \text{ C}}$$

$$= 0,1243 \text{ g}$$

$$V = \frac{nRT}{P}$$

$$= \frac{0,124352332 \text{ g} \times 0,0821 \frac{\text{L atm}}{\text{K mol}} \times 301 \text{ K}}{2 \times \frac{1}{\text{mol}} \times 1,005 \text{ atm}}$$

$$= 1,5404 \text{ L}$$

- Untuk t = 50 menit = 3000 s

Dik: P = 1,005 atm

T = 300,5 K

I = 5 A(C/s)

F = 96.500 C

$$M = \frac{Q \times A \times 1}{n \times F}$$

$$= \frac{5 \frac{\text{C}}{\text{s}} \times 3000 \text{ s} \times 1 \frac{\text{g}}{\text{mol}} \times 1}{1 \frac{1}{\text{mol}} \times 96.500 \text{ C}}$$

$$= 0,155440415 \text{ g}$$

$$V = \frac{nRT}{P}$$

$$= \frac{0,155440415 \text{ g} \times 0,0821 \frac{\text{L atm}}{\text{K mol}} \times 300,5 \text{ K}}{2 \times \frac{1}{\text{mol}} \times 1,005 \text{ atm}}$$

$$= 1,9270 \text{ L}$$

- Untuk t = 60 menit = 3600 s

Dik: P = 1,0051 atm

T = 300,5 K

I = 5 A(C/s)

F = 96.500 C

$$M = \frac{Q \times A \times 1}{n \times F}$$

$$= \frac{5 \frac{\text{C}}{\text{s}} \times 3600 \text{ s} \times 1 \frac{\text{g}}{\text{mol}} \times 1}{1 \frac{1}{\text{mol}} \times 96.500 \text{ C}}$$

$$= 0,1865 \text{ g}$$

$$V = \frac{nRT}{P}$$

$$= \frac{0,18652849 \text{ g} \times 0,0821 \frac{\text{L atm}}{\text{K mol}} \times 300,5 \text{ K}}{2 \times \frac{1}{\text{mol}} \times 1,0051 \text{ atm}}$$

$$= 2,3126 \text{ L}$$

UNIVERSITAS

**BOSOWA**



Untuk mencari volume gas hidrogen digunakan rumus sebagai berikut:

$$V = \pi \times r^2 \times t$$

Keterangan :

$$\pi = 3,14$$

r = Jari-jari

t = Tinggi (cm)

1. Perhitungan volume elektroda lembaran

- Untuk t = 10 menit

$$\begin{aligned} V &= \pi \times r^2 \times t \\ &= 3,14 \times (4 \text{ cm})^2 \times 6 \text{ cm} \\ &= 301,44 \text{ cm}^3 \\ &= 0,3014 \text{ L} \end{aligned}$$

- Untuk t = 20 menit

$$\begin{aligned} V &= \pi \times r^2 \times t \\ &= 3,14 \times (4 \text{ cm})^2 \times 12 \text{ cm} \\ &= 602,88 \text{ cm}^3 \\ &= 0,6028 \text{ L} \end{aligned}$$

- Untuk t = 30 menit

$$\begin{aligned} V &= \pi \times r^2 \times t \\ &= 3,14 \times (4 \text{ cm})^2 \times 18 \text{ cm} \\ &= 904,32 \text{ cm}^3 \\ &= 0,9043 \text{ L} \end{aligned}$$

- Untuk t = 40 menit

$$\begin{aligned} V &= \pi \times r^2 \times t \\ &= 3,14 \times (4 \text{ cm})^2 \times 27 \text{ cm} \\ &= 1.356,48 \text{ cm}^3 \\ &= 1,3564 \text{ L} \end{aligned}$$

- Untuk t = 50 menit

$$\begin{aligned} V &= \pi \times r^2 \times t \\ &= 3,14 \times (4 \text{ cm})^2 \times 32 \text{ cm} \\ &= 1.667,68 \text{ cm}^3 \\ &= 1,6676 \text{ L} \end{aligned}$$

- Untuk t = 60 menit

$$\begin{aligned} V &= \pi \times r^2 \times t \\ &= 3,14 \times (4 \text{ cm})^2 \times 37 \text{ cm} \\ &= 1.858,8 \text{ cm}^3 \\ &= 1,8588 \text{ L} \end{aligned}$$



## 2. Perhitungan volume elektroda spiral

- Untuk t = 10 menit

$$\begin{aligned}V &= \pi \times r^2 \times t \\ &= 3,14 \times (4 \text{ cm})^2 \times 5 \text{ cm} \\ &= 251,2 \text{ cm}^3 \\ &= 0,2512 \text{ L}\end{aligned}$$

- Untuk t = 20 menit

$$\begin{aligned}V &= \pi \times r^2 \times t \\ &= 3,14 \times (4 \text{ cm})^2 \times 10 \text{ cm} \\ &= 502,4 \text{ cm}^3 \\ &= 0,5024 \text{ L}\end{aligned}$$

- Untuk t = 30 menit

$$\begin{aligned}V &= \pi \times r^2 \times t \\ &= 3,14 \times (4 \text{ cm})^2 \times 16 \text{ cm} \\ &= 803,84 \text{ cm}^3 \\ &= 0,8038 \text{ L}\end{aligned}$$

- Untuk t = 40 menit

$$\begin{aligned}V &= \pi \times r^2 \times t \\ &= 3,14 \times (4 \text{ cm})^2 \times 20 \text{ cm} \\ &= 1.055,04 \text{ cm}^3 \\ &= 1,0550 \text{ L}\end{aligned}$$

- Untuk t = 50 menit

$$\begin{aligned}V &= \pi \times r^2 \times t \\ &= 3,14 \times (4 \text{ cm})^2 \times 27 \text{ cm} \\ &= 1.356,48 \text{ cm}^3 \\ &= 1,3564 \text{ L}\end{aligned}$$

- Untuk t = 60 menit

$$\begin{aligned}V &= \pi \times r^2 \times t \\ &= 3,14 \times (4 \text{ cm})^2 \times 33 \text{ cm} \\ &= 1.657,92 \text{ cm}^3 \\ &= 1,6579 \text{ L}\end{aligned}$$

## 3. Perhitungan volume elektroda batang

- Untuk t = 10 menit

$$\begin{aligned}V &= \pi \times r^2 \times t \\ &= 3,14 \times (4 \text{ cm})^2 \times 4 \text{ cm} \\ &= 200,96 \text{ cm}^3 \\ &= 0,2009 \text{ L}\end{aligned}$$

- Untuk  $t = 20$  menit

$$\begin{aligned} V &= \pi \times r^2 \times t \\ &= 3,14 \times (4 \text{ cm})^2 \times 10 \text{ cm} \\ &= 502,4 \text{ cm}^3 \\ &= 0,5024 \text{ L} \end{aligned}$$

- Untuk  $t = 30$  menit

$$\begin{aligned} V &= \pi \times r^2 \times t \\ &= 3,14 \times (4 \text{ cm})^2 \times 14 \text{ cm} \\ &= 703,36 \text{ cm}^3 \\ &= 0,7033 \text{ L} \end{aligned}$$

- Untuk  $t = 40$  menit

$$\begin{aligned} V &= \pi \times r^2 \times t \\ &= 3,14 \times (4 \text{ cm})^2 \times 19 \text{ cm} \\ &= 954,56 \text{ cm}^3 \\ &= 0,9545 \text{ L} \end{aligned}$$

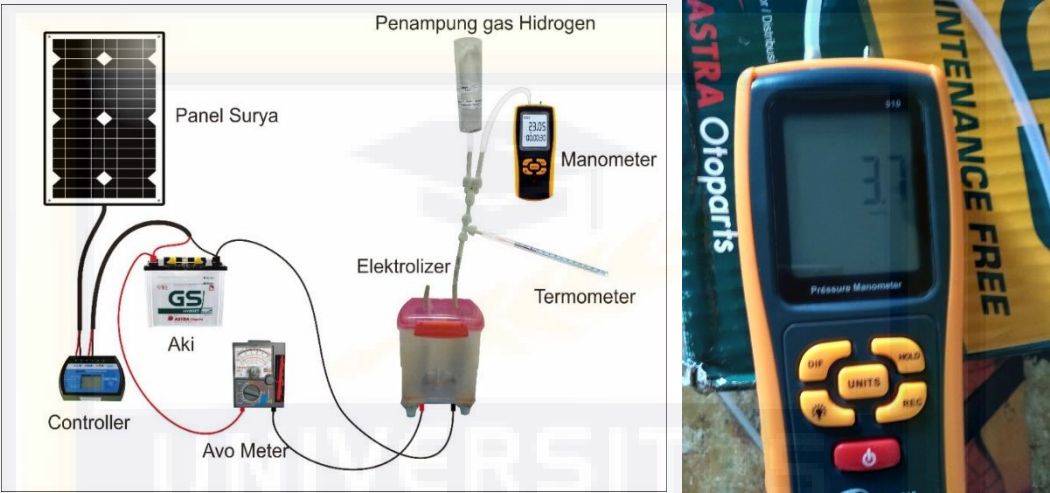
- Untuk  $t = 50$  menit

$$\begin{aligned} V &= \pi \times r^2 \times t \\ &= 3,14 \times (4 \text{ cm})^2 \times 25 \text{ cm} \\ &= 1.256 \text{ cm}^3 \\ &= 1,256 \text{ L} \end{aligned}$$

- Untuk  $t = 60$  menit

$$\begin{aligned} V &= \pi \times r^2 \times t \\ &= 3,14 \times (4 \text{ cm})^2 \times 30 \text{ cm} \\ &= 1.507 \text{ cm}^3 \\ &= 1,507 \text{ L} \end{aligned}$$

LAMPIRAN DOKUMENTASI





# BOSOWA



