

**PENGARUH PENGGUNAAN KARBON AKTIF DARI ALGA
TERHADAP PRODUKSI HIDROGEN PADA PROSES
ELEKTROLISIS AIR**

SKRIPSI

TEKNIK MESIN KONSENTRASI TEKNIK KONVERSI ENERGI

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



MOH. WILDAN HARUN ARIFIN

NIM. 155060201111020

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

FAKULTAS TEKNIK

MALANG

2019

LEMBAR PENGESAHAN

**PENGARUH PENGGUNAAN KARBON AKTIF DARI ALGA
TERHADAP PRODUKSI HIDROGEN PADA PROSES
ELEKTROLISIS AIR**

SKRIPSI

TEKNIK MESIN KONSENTRASI TEKNIK KONVERSI ENERGI

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



MOH. WILDAN HARUN ARIFIN

NIM. 155060201111020

Skripsi ini telah direvisi dan disetujui oleh dosen pembimbing pada
tanggal 19 Juli 2019

Dosen Pembimbing I

Purnami, ST., MT.

NIP. 19770707 200812 1 005

Dosen Pembimbing II

Dr. Eng. Denny Widhiyanuriyawan, ST., MT.

NIP. 19750113 200012 1 001

**Mengetahui,
Ketua Program Studi S1**

Dr. Eng. Mega Nur Sasongko, ST., MT.

NIP. 19740930 200012 1 001

PERNYATAAN ORISINALITAS SKRIPSI

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya dan berdasarkan hasil penelusuran berbagai karya ilmiah, gagasan, dan masalah ilmiah yang diteliti dan diulas di dalam naskah skripsi ini adalah asli dari pemikiran saya, tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik di suatu Perguruan Tinggi, dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila ternyata di dalam naskah skripsi ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur penjiplakan, saya bersedia skripsi ini dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (Undang-undang Nomor 20 Tahun 2003 Pasal 25 ayat (2) dan pasal 70)

Malang, 20 Juli 2019

Mahasiswa,



Moh. Wildan Harun Arifin

NIM. 155060201111020

TURNITIN



**UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM SARJANA**



SERTIFIKAT BEBAS PLAGIASI

Nomor : 077/UN10.F07.12.21/PP/2019

Sertifikat ini diberikan kepada :

MOH. WILDAN HARUN ARIFIN

Dengan Judul Skripsi :

**PENGARUH PENGGUNAAN KARBON AKTIF DRI ALGA TERHADAP
PRODUKSI HIDROGEN PADA PROSES ELEKTROLISIS AIR**

Telah dideteksi tingkat plagiasinya dengan kriteria toleransi $\leq 20\%$, dan dinyatakan Bebas dari Plagiasi pada tanggal **22 JUL 2019**

Ketua Jurusan Teknik Mesin

Ketua Program Studi S1 Teknik Mesin

Ir. Djarot B. Darmadi, MT., Ph.D
NIP. 19670518 199412 1 001

Dr.Eng. Mega Nur Sasongko, ST., MT
NIP. 19740930 200012 1 001

IDENTITAS TIM PENGUJI

JUDUL SKRIPSI:

Pengaruh Penggunaan Karbon Aktif dari Alga Terhadap Produksi Hidrogen pada Proses Elektrolisis Air

Nama Mahasiswa : Moh. Wildan Harun Arifin
NIM : 155060201111020
Program Studi : Teknik Mesin
konsentrasi : Teknik Konversi Energi

KOMISI PEMBIMBING

Pembimbing I : Purnami, ST., MT.
Pembimbing II : Dr.Eng. Denny Widhiyanuriyawan, ST., MT.

TIM DOSEN PENGUJI

Dosen Penguji 1 : Dr.Eng. Mega Nur Sasongko, ST., MT.
Dosen Penguji 2 : Dr. Slamet Wahyudi, ST., MT.
Dosen Penguji 3 : Dr.Eng. Nurkholis Hamidi, ST., M.Eng.

Tanggal Ujian : 16 Juli 2019
SK Penguji : 1357/UN10.F07/SK/2019

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur Penulis ucapkan kepada Allah SWT, karena atas rahmat dan hidayah-Nya Penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik. Skripsi ini disusun sebagai bentuk dokumentasi dan hasil akhir dari proses perkuliahan yang telah dilaksanakan. Skripsi ini juga merupakan persyaratan kelulusan untuk mendapatkan gelar Sarjana Teknik dalam kurikulum program studi Teknik Mesin Universitas Brawijaya.

Penulis menyadari bahwa tidak akan dapat menyelesaikan semuanya dengan baik tanpa bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih sebesar-besarnya kepada berbagai pihak di antaranya:

1. Kepada Abi Moh. Nurhamzah dan Umma Hasinah sebagai orang tua penulis, serta adik saya Sri Ruhyatul Mutmainnah dan Moh. Akmal Ziyadul Fikri yang tidak henti-hentinya memberikan semangat, motivasi maupun doa kepada penulis baik selama perkuliahan maupun dalam penyusunan skripsi ini.
2. Bapak Purnami, ST., MT., selaku Dosen Pembimbing I yang telah memberi bimbingan, saran, motivasi, waktu dan ilmu yang sangat banyak selama penyusunan skripsi ini.
3. Bapak Dr.Eng. Denny Widhiyanuriyawan, ST., MT., selaku Dosen Pembimbing II yang telah memberi bimbingan, saran, motivasi, waktu dan ilmu yang sangat banyak selama penyusunan skripsi ini.
4. Bapak Ir. Djarot B. Darmadi, MT., Ph.D., selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya.
5. Bapak Teguh Dwi Widodo, ST., M.Eng, Ph.D., selaku Sekretaris Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya.
6. Bapak Dr.Eng. Mega Nur Sasongko, ST., MT., selaku Ketua Program Studi S1 Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya.
7. Ibu Dr. Eng. Widya Wijayanti, ST., MT., selaku Ketua Kelompok Jabatan Fungsional Teknik Konversi Energi Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya.
8. Bapak Alm. Dr.Eng. Sofyan Arief Setya Budi, ST., M.Eng., dan bapak Redi Bintarto, ST., M.Eng.Pract., selaku dosen pembimbing akademik yang banyak membantu dan memberi saran selama proses perkuliahan.
9. Seluruh dosen jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya yang telah memberi ilmu dan membimbing penulis selama perkuliahan.

10. Kepada Manulife Asset Management Indonesia dan keluarga besar Paguyuban Karya Salemba Empat yang telah mendukung penulis baik dalam segi moral dan materi selama menjadi beswan.
11. Kepada keluarga besar Apatte62 Brawijaya, khususnya angkatan 2015 yang telah menemani serta menerima keluh kesah serta memberi motivasi kepada penulis selama ini.
12. Keluarga besar Mesin UB angkatan 2015 yang selalu memberikan semangat serta bantuan selama perkuliahan ini.
13. Kepada rekan sekaligus partner skripsi penulis yaitu Ryan fuad, Tanty, Yudha, Anisa, Andrew, Andy dan Fuad widodo.

Penulis menyadari skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan dan masih terdapat banyak kekurangan. Oleh sebab itu penulis mengharapkan saran dan kritik yang dapat membantu perkembangan topik yang terkait dengan skripsi ini maupun bagi penulis sendiri secara pribadi. Penulis mengharapkan skripsi ini dapat bermanfaat bagi banyak pihak dan bagi perkembangan keilmuan Teknik Mesin Universitas Brawijaya.

Malang, Juli 2019

Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR TABEL	v
DAFTAR GAMBAR	vi
RINGKASAN	vii
SUMMARY	viii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Penelitian Produksi Hidrogen	5
2.2 Air	6
2.2.1 Sifat Air	6
2.2.2 Diamagnetik air	7
2.3 Elektrolisis Air	7
2.2.3 Proses dan Faktor	7
2.4 Elektrolit	9
2.5 Elektroda	9
2.6 <i>Elektroliser</i>	10
2.6.1 Tipe Kering (<i>Dry cell</i>)	10
2.6.2 Tipe Basah (<i>Wet cell</i>)	10
2.7 Hidrogen	13
2.7.1 Karakteristik Hidrogen	14
2.8 Karbon Aktif	14
2.8.1 Alga	16
2.8.1.1 Spektroskopi FTIR	16
2.8.1 Proses Pembuatan Karbon Aktif	20
2.9 Metode Produksi Hidrogen	21
2.10 Kerangka Konsep Penelitian	22

2.10.1 Penambahan Karbon Aktif Alga	22
2.11 Hipotesis	23
BAB III METODE PENELITIAN.....	25
3.1 Metode Penelitian	25
3.2 Tempat dan Waktu Penelitian.....	25
3.3 Variabel Penelitian.....	25
3.3.1 Variabel Bebas.....	25
3.3.2 Variabel Terikat.....	25
3.3.3 Variabel Terkontrol	25
3.4 Alat-Alat dan Bahan-Bahan Penelitian.....	26
3.4.1 Alat-Alat Penelitian	26
3.4.2 Bahan-Bahan Penelitian	29
3.5 Skema Instalasi Alat Penelitian	30
3.6 Prosedur Pengambilan Data.....	30
3.7 Diagram Alir Penelitian	32
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	33
4.1 Hasil Penelitian	33
4.1.1 Elektrolisis Air Konvensional (0 ppm)	34
4.1.2 Elektrolisis Air dengan Penambahan 25 ppm Karbon Aktif Alga.....	34
4.1.3 Elektrolisis Air dengan Penambahan 50 ppm Karbon Aktif Alga.....	35
4.2 Analisa dan Pembahasan	36
4.2.1 Pengaruh Penambahan Karbon Aktif Terhadap pH, Temperatur, Arus dan Volume Gas Hidrogen	36
4.2.2 Pengaruh Penambahan Karon Aktif Terhadap Efisiensi Elektrolisis Air..	40
BAB V PENUTUP	43
5.1 Kesimpulan	43
5.2 Saran	43
DAFTAR PUSTAKA	

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Sifat Fisik Gas Hidrogen	14
Tabel 2.2	Daerah Gugus Fungsi IR	18
Tabel 2.3	Data Hasil FTIR.....	19

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Ikatan antar molekul air	6
Gambar 2.2	<i>Elektroliser</i> H ₂ tipe kering	10
Gambar 2.3	<i>Elektroliser</i> H ₂ tipe basah	11
Gambar 2.4	Model atom hidrogen	13
Gambar 2.5	Lapisan atom karbon heksagonal	15
Gambar 2.6	Ilustrasi struktur kimia karbon aktif	15
Gambar 2.7	Hasil FTIR karbon aktif alga	19
Gambar 2.8	Ilustrasi pembentukan medan magnet karena adanya gaya resonansi	22
Gambar 2.9	Ilustrasi pemutusan ikatan hidrogen oleh medan magnet yang ditimbulkan oleh karbon aktif alga	22
Gambar 3.1	Adaptor	26
Gambar 3.2	Komponen penyusun generator H ₂	26
Gambar 3.3	Timbangan Analitik	27
Gambar 3.4	Wadah pencampur	27
Gambar 3.5	Tabung Ukur Volume	28
Gambar 3.6	Digital volt dan ampere meter	28
Gambar 3.7	Katalis karbon aktif alga	29
Gambar 3.8	Kristal Natrium Clorida	29
Gambar 3.9	Skema instalasi alat penelitian	29
Gambar 3.10	Diagram alir penelitian	32

RINGKASAN

Moh. Wildan Harun Arifin, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, Juli 2019, *Pengaruh Penggunaan Karbon Aktif dari Alga Terhadap Produksi Hidrogen pada Proses Elektrolisis Air*, Dosen Pembimbing: Purnami dan Denny Widhiyanuriyawan.

Elektrolisis air merupakan salah satu proses untuk memproduksi gas Hidrogen dengan bantuan aliran arus listrik untuk memecah atom oksigen dan atom hidrogen pada senyawa air. Namun proses ini masih memiliki permasalahan efisiensi yang rendah hanya sebesar 16,47%. Salah satu cara untuk mengatasi masalah tersebut dengan penggunaan katalis. Katalis yang digunakan pada penelitian ini adalah karbon aktif yang berasal dari alga yang ketersediaannya melimpah, daya guna yang masih kurang optimal serta karena keberadaan medan magnet internal pada kandungan senyawa cincin aromatik sebesar 30% berdasarkan uji FTIR yang dapat mempengaruhi pergerakan atom O dan H hingga sampai terputusnya ikatan Hidrogen dan kovalen pada molekul air. Dengan variasi penambahan katalis karbon aktif adalah 0 ppm 25 ppm dan 50 ppm sehingga didapatkan hasil penambahan karbon aktif dan pengaruhnya terhadap nilai pH, temperatur, kemampuan menghantarkan arus, dan jumlah gas hidrogen yang dihasilkan. Pada penelitian kali ini didapatkan dengan penggunaan karbon aktif dapat meningkatkan produksi hidrogen, serta dengan semakin bertambahnya karbon aktif maka produksi hidrogen akan semakin meningkat. Hal ini didukung berdasarkan data penurunan nilai pH, kenaikan temperatur, peningkatan kemampuan menghantarkan arus, dan kenaikan jumlah gas hidrogen seiring bertambahnya karbon aktif pada larutan elektrolit elektrolisis air.

Kata Kunci: Hidrogen, Karbon aktif alga, elektrolisis air, efisiensi

SUMMARY

Moh. Wildan Harun Arifin, Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Universitas Brawijaya, Juli 2019, *The Effect of The Use of Active Carbon From Alga on Hydrogen Production in Water Electrolysis Process*, Academic Supervisor: Purnami dan Denny Widhiyanuriyawan.

Electrolysis of water is one of the processes for producing Hydrogen gas with the help of electric current to break up oxygen atoms and hydrogen atoms in water compounds. However, this process still has a low efficiency problem of only 16.47%. One way to overcome this problem is by using a catalyst. The catalyst used in this study is activated carbon derived from algae with abundant availability, less optimal usability and because of the presence of internal magnetic fields on aromatic ring compounds of 30% based on FTIR tests which can affect the movement of O and H atoms up to the breakdown of hydrogen and covalent bonds in water molecules. With variations in the addition of catalysts activated carbon is 0 ppm 25 ppm and 50 ppm so that the results of the addition of activated carbon and its effect on the pH value, temperature, ability to deliver current, and the amount of hydrogen gas produced are obtained. In this study obtained by the use of activated carbon can increase hydrogen production, and with increasing activated carbon, hydrogen production will increase. This is supported by data on decreasing pH values, increasing temperatures, increasing the ability to conduct current, and increasing the amount of hydrogen gas as the activated carbon increases in electrolytic water electrolyte solutions.

Keywords: Hydrogen, algae activated carbon, water electrolysis, efficiency

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Ketersediaan bahan bakar fosil semakin hari semakin menipis dikarenakan semakin meningkatnya konsumsi bahan bakar fosil di berbagai belahan bumi. Konsumsi BBM (Bahan Bakar Minyak) yang berasal dari fosil ini telah mengalami peningkatan termasuk Indonesia yang turut menggunakan bahan bakar fosil. Tercatat pada tahun 2015 jumlah kendaraan bermotor meningkat sebesar 7.184.925 menjadi 7.886.894 pada tahun 2016 (BPS, 2017). Dengan demikian dapat dikatakan semakin meningkatnya jumlah kendaraan bermotor maka konsumsi bahan bakar fosilpun meningkat. Tercatat peningkatan konsumsi bahan bakar di Indonesia pada tahun 2012 sebesar 1.430 juta barel per hari berdasarkan data statistik *review of world energy* (BPSW, 2012). Selain permasalahan tentang ketersediaan, bahan bakar fosil memiliki kerugian lain yaitu polusi yang diakibatkan dari hasil pembakarannya.

Dari permasalahan tersebut tentunya diperlukan solusi bahan bakar alternatif yang dapat mengurangi atau bahkan menghilangkan efek samping dari penggunaan bahan bakar fosil antara lain tentang ketersediaan dan polusi yang diakibatkannya. Berbagai bahan bakar alternatif telah dikembangkan akhir-akhir ini untuk mengatasi permasalahan tersebut. Salah satu bahan bakar alternatif yang sedang disoroti banyak negara adalah Hidrogen. Dimana hidrogen dalam pemanfaatannya sebagai bahan bakar tidak menghasilkan polutan dan ketersediaan di alam yang melimpah. Hidrogen diperkirakan akan menjadi pemasok energi utama karena ramah lingkungan dan kemudahannya dikonversi menjadi energi (Henggar, 2006).

Beberapa penelitian tentang hidrogen telah dilakukan dengan elektrolisis fotovoltaiik (Thomas et al 2008), elektrolisis air alkali (Zenk et al 2010), dan elektrolisis PEM (Polymer Electrolyte Membrane) (Carmo et al, 2013). Dari beberapa metode dalam memproduksi hidrogen yang telah ditemukan, elektrolisis air memiliki biaya pengoperasian yang kecil, derajat kemurnian yang tinggi dan pemeliharaan yang mudah namun nilai efisiensi produksi hidrogen yang rendah (Winter et al, 2009). Dengan demikian diperlukan upaya untuk meningkatkan efisiensi produksi hidrogen pada proses elektrolisis air. Upaya peningkatan nilai efisiensi tersebut di antaranya dengan penambahan medan magnet eksternal.

jika elektrolisis dikenai magnet maka proses elektrolisis lebih cepat bereaksi dalam menghasilkan gas hidrogen, hal itu disebabkan karena adanya pengaruh medan magnet terhadap proses elektrolisis yang disebabkan karena arah dorongan gaya magnet terhadap ion-ion yang akan menuju ke arah elektroda. Pada penelitian yang dilakukan oleh (Bidin et al. 2017) penelitian elektrolisis air yang dilakukan dengan penambahan medan magnet eksternal didapatkan peningkatan jumlah hidrogen sebesar 6 kali lipat jika dibandingkan dengan tanpa penambahan medan magnet eksternal.

Pada penelitian kali ini akan digunakan katalis untuk meningkatkan nilai efisiensi produksi hidrogen pada elektrolisis air dengan merekayasa medan magnet internal yang mana dapat melemahkan dan memutuskan ikatan hidrogen akibat gaya tolak menolak yang disebabkan sifat diamagnetik pada air. Medan magnet internal ini yang berasal dari bahan organik lokal yang mana keberadaan bahan organik lokal tersebut mudah didapatkan di Indonesia, dengan digunakannya sebagai katalis pada produksi hidrogen ini yaitu karbon aktif dari alga yang memiliki ikatan cincin aromatis yang bersifat magnetik oleh akibat pergerakan atau rotasi elektron maka nilai gunanya pun meningkat.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas maka didapatkan rumusan masalah bagaimana pengaruh penambahan karbon aktif dari alga terhadap produksi hidrogen pada proses elektrolisis air.

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian kali ini ditentukan untuk memfokuskan penelitian, diantaranya:

1. Pada penelitian ini tidak mendeskripsikan penemuan alga untuk dijadikan karbon aktif.
2. Reaksi kimia antara wadah dan elektrolit selama proses elektrolisis air dianggap tidak ada.
3. Temperatur dan tekanan pada pengujian untuk semua variasi dianggap sama yaitu 27°C dan 1 atm

1.4 Tujuan Penelitian

Penelitian kali ini bertujuan untuk:

1. Mengetahui pengaruh penambahan karbon aktif alga pada proses elektrolisis air terhadap arus listrik dan produksi hidrogen.
2. Memperoleh jumlah penambahan katalis dengan nilai produktifitas hidrogen yang optimal dengan menggunakan karbon aktif dari alga.
3. Dapat menghitung efisiensi penggunaan karbon aktif alga pada elektrolisis air.

1.5 Manfaat Penelitian

Hasil dari penelitian ini diharapkan memperoleh manfaat diantaranya :

1. Memperoleh bahan bakar alternatif hidrogen sebagai solusi atas permasalahan ketersediaan bahan bakar fosil yang semakin menurun.
2. Menjadi referensi dalam pengembangan bahan bakar energi hidrogen yang lebih efisien dengan penambahan katalis karbon aktif dari alga
3. Dapat meningkatkan fungsi bahan organik karbon aktif dari alga dalam penerapannya sebagai katalis pada produksi hidrogen dengan elektrolisis air

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Produksi Hidrogen

Beberapa penelitian mengenai elektrolisis air telah dilaksanakan, diantaranya yang dilakukan oleh (Jefri et al. 2016) tentang pengaruh karbon aktif dalam elektrolisis air laut untuk menghasilkan gas hidrogen, didapatkan dengan memanfaatkan elektron bebas yang dimiliki karbon aktif dapat menurunkan jumlah arus listrik yang digunakan dengan persentase penghematan yaitu sebanyak 8,61% untuk salinitas $\pm 5\%$, 47,35% untuk salinitas $\pm 20\%$ dan sebanyak 38,05% untuk salinitas $\pm 35\%$.

Sedangkan menurut (Bidin et al. 2016) didapatkan dengan memvariasikan berbagai keadaan dalam proses elektrolisis air dengan menggunakan cahaya matahari pada elektrolisis air didapatkan dapat meningkatkan produksi hidrogen hingga 53% jika dibandingkan dengan menggunakan cahaya buatan (dengan laser) hingga 31% dan jika di tempat yang gelap hanya 16% nya saja. Hal ini disebabkan dengan adanya sinar matahari dapat menguatkan medan listrik dalam elektrolisis air sehingga mempercepat pemisahan air.

Lin et al. menunjukkan berdasarkan hasil penelitiannya dengan penggunaan medan magnet pada suhu kamar, jarak elektroda 2 mm dan tegangan 4 V, elektroda nikel (bahan feromagnetisme) dapat meningkatkan kerapatan arus hingga 14,6%, dan elektroda platinum (bahan paramagnetisme) dapat meningkatkan kerapatan arus hingga 10%. Ini menunjukkan bahwa gaya magnet memang meningkatkan efisiensi elektrolisis air, dan feromagnetisme adalah pilihan terbaik untuk elektroda (Lin et al 2011).

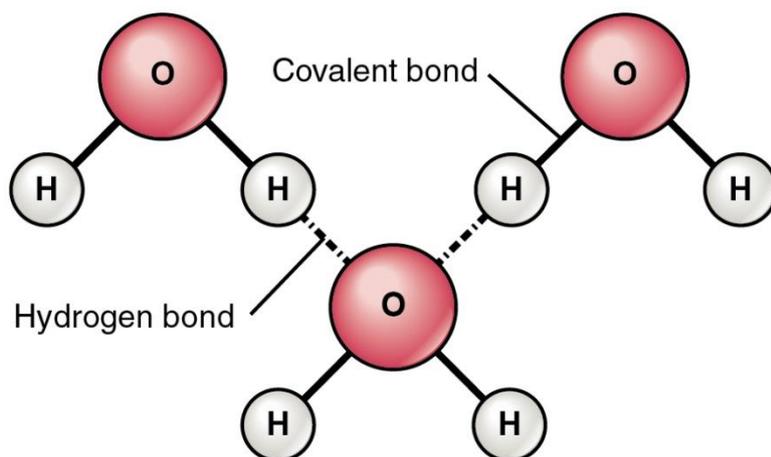
Penelitian mengenai produksi hidrogen lain pun dilakukan oleh bidin et al., yang mana penggunaan batang magnet dan laser hijau (sebagai cahaya buatan) dapat meningkatkan produksi hidrogen dengan penggabungan keduanya dapat meningkatkan hampir sembilan kali lebih tinggi dibandingkan dengan elektrolisis aslinya. Demikian pula kehadiran bidang eksternal individu mengungkapkan sekitar enam kali dengan magnet, dan tiga kali masing-masing dengan laser hijau. Laju produksi hidrogen dengan adanya medan magnet luar hampir dua kali lipat dibandingkan dengan medan optik. Ini menunjukkan bahwa, keberadaan medan magnet dua kali lebih kuat daripada

efek radiasi optik. Kehadiran medan eksternal dalam air memainkan peran penting untuk meningkatkan produksi hidrogen (Bidin et al. 2017).

2.2 Air

2.2.1 Sifat Air

Air adalah pelarut universal. Kelarutan dari senyawa ion adalah hubungannya dengan energi kisi dan energi hidrasi. Selain senyawa polar, beberapa senyawa kovalen dapat melarut dalam air karena membentuk ikatan hidrogen dengan molekul air. Senyawa ini mengandung gugus hidroksil, karbonil, karboksil dan gugus amino. Air bersifat polar yaitu pelarut yang baik untuk bermacam-macam zat, molekul air terikat oleh ikatan hidrogen satu sama lain, pada kondisi standar yaitu pada tekanan 100 kPa atau 1 bar mempunyai titik beku 273,15 K setara 0°C dan titik didih 373,15 K atau setara dengan 100°C. (Wijayakusuma, 2009)



Gambar 2.1 Ikatan antar molekul air
Sumber: Zumdahl (2010)

Tarikan atom oksigen pada elektron-elektron ikatan jauh lebih kuat dari pada yang dilakukan oleh atom hidrogen, meninggalkan jumlah muatan positif pada kedua atom hidrogen, dan jumlah muatan negatif pada atom oksigen. Adanya muatan pada tiap-tiap atom tersebut membuat molekul air memiliki sejumlah momen dipol. Gaya tarik-menarik listrik antar molekul-molekul air akibat adanya dipol ini membuat masing-masing molekul saling berdekatan, membuatnya sulit untuk dipisahkan dan yang pada akhirnya menaikkan titik didih air. Gaya tarik-menarik ini disebut sebagai ikatan hidrogen. Ikatan antar molekul air ditunjukkan seperti pada Gambar 2.1.

2.2.2 Diamagnetik Air

Bahan diamagnetik adalah bahan yang resultan medan magnet atomik dari masing-masing atom/molekulnya adalah nol, tetapi medan magnet akibat orbit dan spin elektronnya tidak nol. Bahan diamagnetik tidak mempunyai momen dipol magnet permanen. Jika bahan diamagnetik diberi medan magnet luar, maka elektron-elektron dalam atom akan mengubah gerakannya sedemikian rupa sehingga menghasilkan resultan medan magnet atomik yang arahnya berlawanan dengan medan magnet luar tersebut. Contoh bahan diamagnetik adalah air (Sunaryo et al, 2010).

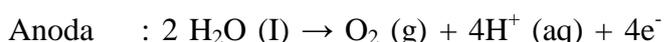
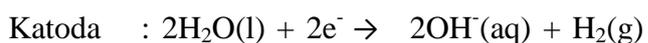
Sehingga diamagnetik air merupakan sifat penolakan air terhadap gaya tarik magnet. Sifat ini disebabkan oleh medan magnet luar dan gerakan elektron yang mengorbit inti. Elektron-elektron yang membawa muatan akan melakukan gaya Lorentz pada saat bergerak melewati medan magnet. Efek gaya tarik magnet pada bahan diamagnetik lebih kecil 100 kali dari paramagnetik dan 1000 kali dari feromagnetik

Sifat diamagnetik bahan ditimbulkan oleh gerak orbital elektron karena atom mempunyai elektron orbital, maka semua bahan bersifat diamagnetik. Suatu bahan dapat bersifat magnet apabila susunan atom dalam bahan tersebut mempunyai spin elektron yang tidak berpasangan. Dalam bahan diamagnetik hampir semua spin elektron berpasangan, akibatnya bahan ini tidak menarik garis gaya.

2.3 Elektrolisis Air

2.3.1 Proses dan Faktor

Merupakan metode untuk mengurai senyawa air (H_2O) menjadi gas Hidrogen dan Oksigen dengan menggunakan aliran arus listrik. Pada katoda, dua molekul air bereaksi dengan menangkap dua elektron, tereduksi menjadi gas H_2 dan ion hidroksida (OH^-). Sementara itu pada anoda, dua molekul air lain terurai menjadi gas oksigen (O_2), melepaskan 4 ion H^+ serta mengalirkan elektron ke katoda. Ion H^+ dan OH^- mengalami netralisasi sehingga terbentuk kembali beberapa molekul air (Achmad H, 1992). Reaksi yang ada pada elektroda sebagai berikut.



Ada beberapa faktor yang berpengaruh terhadap proses elektrolisis, diantaranya adalah

- a. Penggunaan Katalisator

NaCl berfungsi mempermudah proses penguraian air menjadi hidrogen dan oksigen karena ion-ion katalisator mampu mempengaruhi kesetabilan molekul air menjadi menjadi ion H dan OH yang lebih mudah di elektrolisis karena terjadi penurunan energy pengaktifan. Zat tersebut tidak mengalami perubahan yang kekal (tidak dikonsumsi dalam proses elektrolisis).

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 electron.

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 electron dikarenakan sedikitnya luas penampang penghantar yang menyentuh elektrolit. Sehingga transfer electron 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. Jika suatu beda potensial listrik ditempatkan pada ujung-ujung sebuah konduktor, muatan-muatan Bergeraknya akan berpindah, menghasilkan arus listrik. Konduktivitas listrik didefinisikan sebagai ratio rapat arus terhadap kuat medan listrik. Konduktifitas 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 kiri letak suatu logam dalam deret volta, maka logam tersebut semakin mudah teroksidasi. sebaliknya, semakin ke kanan suatu logam dalam deret volta, maka logam tersebut semakin mudah tereduksi.

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 electron dapat lebih cepat meng-elektrolisis elektrolit dan didapat ditarik garis lurus bahwa terjadi hubungan sebanding terhadap prosentase katalis dengan transfer elektron.

e. Faktor Luar

Merupakan salah satu faktor yang baru dilakukan oleh peneliti yang terbaru yaitu dengan penggunaan sinar laser serta magnet batang yang di reaksikan dengan larutan elektrolit sehingga mempengaruhi struktur atom molekul air.

2.4 Elektrolit

Elektrolit adalah suatu zat terlarut atau terurai ke dalam bentuk ion-ion dan selanjutnya larutan menjadi konduktor elektrik. Umumnya, air adalah pelarut (*solven*) yang baik untuk senyawa ion dan mempunyai sifat menghantarkan arus listrik. Contohnya apabila elektroda bereaksi dengan air murni, bola lampu tidak akan menyala karena air tersebut merupakan konduktor listrik yang sangat jelek. Apabila suatu senyawa ion yang larut seperti NaCl ditambahkan pada air, maka solutnya akan larut sehingga bola lampu mulai menyala dengan terang. (Syafariyadi, 2015)

Bila larutan elektrolit dialiri arus listrik, ion-ion dalam larutan akan bergerak menuju *electrode* dengan muatan yang berlawanan, melalui cara ini arus listrik akan mengalir dan ion bertindak sebagai penghantar, sehingga dapat menghantarkan arus listrik. Proses oksidasi dan reduksi sebagai reaksi pelepasan dan penangkapan oleh suatu zat. Oksidasi adalah proses pelepasan elektron dari suatu zat sedangkan reduksi adalah proses penangkapan elektron oleh suatu zat (Pratiwi, 2014). Kekuatan suatu elektrolit ditandai dengan suatu besaran yang disebut derajat ionisasi (α) Elektrolit kuat memiliki harga $\alpha = 1$, sebab semua zat yang dilarutkan terurai menjadi ion Elektrolit lemah memiliki harga $\alpha < 1$, sebab hanya sebagian yang terurai menjadi ion.

2.5 Elektroda

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 (Svehla, 1985). 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. (Brady, 1999)

Pada anoda terjadi reaksi oksidasi, yaitu anion (ion negatif) ditarik oleh anoda sehingga jumlah elektronnya berkurang atau bilangan oksidasinya bertambah. Pada katoda terjadi reaksi reduksi, yaitu kation (ion positif) ditarik oleh katoda dan menerima tambahan elektron, sehingga bilangan oksidasinya berkurang.

Salah satu material untuk elektroda yang masuk rekomendasi adalah Stainless Steel (baja anti karat). *Stainless Steel* (SS) adalah logam paduan *iron* (besi) yang memiliki minimal 12 % kromium (Cr). Unsur ini membentuk bagian lapisan *protective layer* (lapisan pelindung anti korosi) yang menghalangi proses oksidasi besi (Fe). Oksidasi oksigen pada kromium akan membentuk lapisan *protective layer* secara spontan. (Purwanti et al, 2013).

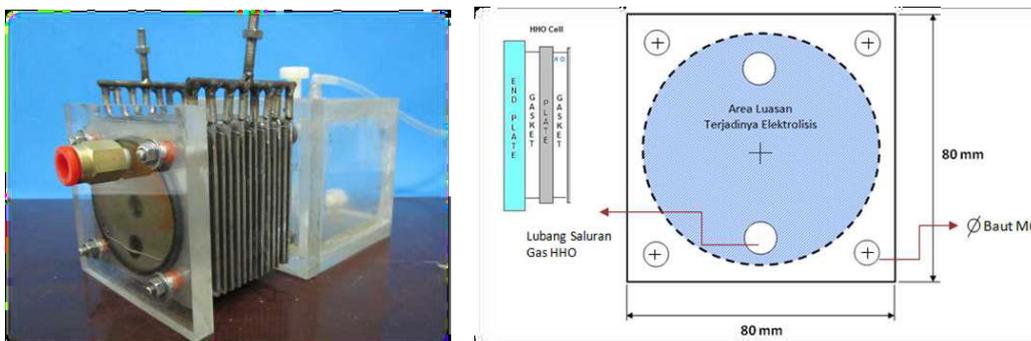
2.6 Elektroliser

Saat ini ada 2 jenis elektroliser yaitu tipe basah (*Wet Cell*) dan tipe kering (*Dry Cell*). Tipe basah adalah elektroliser dimana katodanya terendam elektrolit di sebuah bejana air, sedangkan tipe kering adalah elektroliser dimana elektrodanya tidak terendam dalam elektrolit dan elektrolit hanya mengisi celah-celah antara elektroda itu sendiri (Gunawan, 2012). Pada penelitian ini menggunakan elektroliser tipe basah atau *wet cell*.

2.6.1 Tipe Kering (*Dry Cell*)

Sel elektrolisis tipe basah merupakan reaktor sel elektrolisis dimana sebagian elektrodanya tidak terendam dan elektrolit hanya mengisi celah-celah antara elektroda itu sendiri. Tipe jenis ini dapat ditunjukkan pada Gambar 2.2. Keuntungan reaktor H₂ tipe *wet cell* adalah:

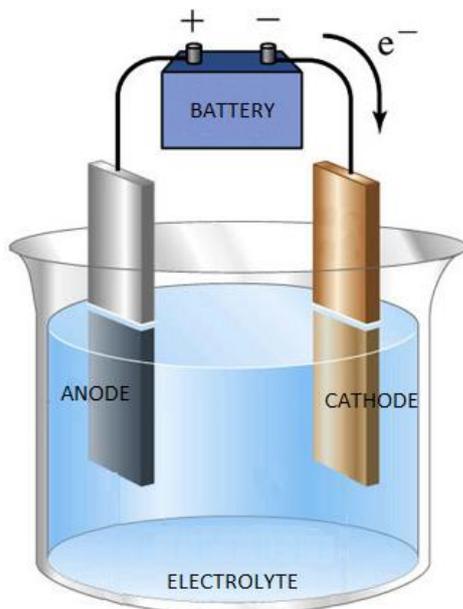
1. Air yang di elektrolisa hanya seperlunya, yaitu hanya air yang terjebak diantara lempengan cell.
2. Panas yang ditimbulkan relative kecil, karena selalu terjadi sirkulasi antara air panas dan dingin di reservoir.
3. Arus listrik yang digunakan relatif lebih kecil, karena Air yang di elektrolisa hanya seperlunya dan daya yang terkonversi menjadi panas semakin sedikit.



Gambar 2.2 Elektroliser H₂ tipe kering
Sumber: Bambang Sudarmanta (2016)

2.6.2 Tipe Basah (*Wet Cell*)

Sel elektrolisis tipe basah merupakan reaktor elektrolisis dimana semua elektrodanya terendam cairan elektrolit di dalam sebuah bejana air. Pada tipe wet cell membutuhkan energi listrik yang lebih besar dikarenakan semua area luasan elektroda platnya terendam air untuk proses elektrolisis menghasilkan gas H₂. Tipe jenis ini dapat ditunjukkan pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Elektroliser H₂ tipe basah
Sumber: Bambang Sudarmanta (2016)

Efisiensi yang dihasilkan dari penggunaan elektrosiser tipe basah ini dapat dihitung berdasarkan perbandingan antara energi yang dihasilkan dengan jumlah energi yang digunakan. Sesuai dengan persamaan berikut (Williams, 2002):

$$\eta = \frac{\text{Energi yang dihasilkan}}{\text{Energi yang digunakan}} \dots\dots\dots (2-1)$$

Sumber: Williams (2002)

Pada proses elektrolisis air ini harus mengetahui terlebih dahulu jumlah energi yang digunakan (*input*) dan energi yang dihasilkan (*output*). Untuk mengetahui energi yang digunakan (*input*) pada elektrolisis air dapat ditentukan oleh daya listrik yang digunakan selama proses elektrolisis berlangsung dapat ditunjukkan pada persamaan berikut.

$$P = V \cdot I \dots\dots\dots (2-2)$$

Sumber: Bueche, (1985)

Dimana:

P = Daya yang dibutuhkan oleh elektroliser (watt)

V = Tegangan (Volt)

I = Kuat arus listrik (Ampere)

Dari persamaan diatas dapat dikatakan bahwa semakin besar tegangan atau kuat arus listrik yang dipakai pada proses elektrolisis air maka akan memperbesar daya yang dibutuhkan elektroliser, dikarenakan tegangan atau kuat arus berbanding lurus dengan daya yang dibutuhkan. Sedangkan dalam menentukan energi yang dihasilkan pada elektrolisis air ini di tentukan oleh debit aliran gas yang dihasilkan (lt/s), massa jenis H₂ (gr/lt) dan *High Heating Value* (J/gr). Untuk menentukan debit aliran gas H₂ dapat diketahui melalui perbandingan antara volume gas H₂ dengan waktu yang digunakan untuk menghasilkan gas H₂. Seperti yang ditunjukkan pada persamaan berikut:

$$Q = \frac{V}{t} \dots\dots\dots(2-3)$$

Sumber: Sopandi, (2015)

Dimana:

Q = Debit aliran Gas H₂ (l/s)

V = Volume Gas H₂ (l)

t = waktu yang digunakan untuk menghasilkan Gas H₂ (s)

Dalam menentukan efisiensi dalam memproduksi gas H₂ pada elektrolisis air ini dapat ditentukan dengan persamaan dibawah ini, yang mana jika pada kondisi STP (*standart temperature pressure*) massa jenis hidrogen (H₂) ρH₂ = 0,08988 gr/l (Cole Parmer Instrument, 2005) dan HHV H₂ adalah 141880 j/gr.

Sehingga dapat diketahui cecara teoritis perhitungan efisiensi generator H₂ dapat ditunjukkan pada Persamaan dibawah ini:

$$\eta = \frac{\text{energi yang dimiliki H}_2 \text{ hasil elektrolisis}}{\text{energi yang dibutuhkan untuk memproduksi gas H}_2} \times 100\% \dots\dots\dots(2-5)$$

$$\eta = \frac{QH_2 \times \rho_{H_2} \times HHV_{H_2}}{P} \times 100\% \dots\dots\dots(2-6)$$

Sumber: Marlina et al (2013)

Dimana:

Q H₂ = Debit Gas H₂ yang dihasilkan pada proses elektrolisis (l/s)

HHV H₂ = Nilai energi bahan bakar H₂ (J/gr)

ρ H₂ = massa jenis gas H₂ (gr/l)

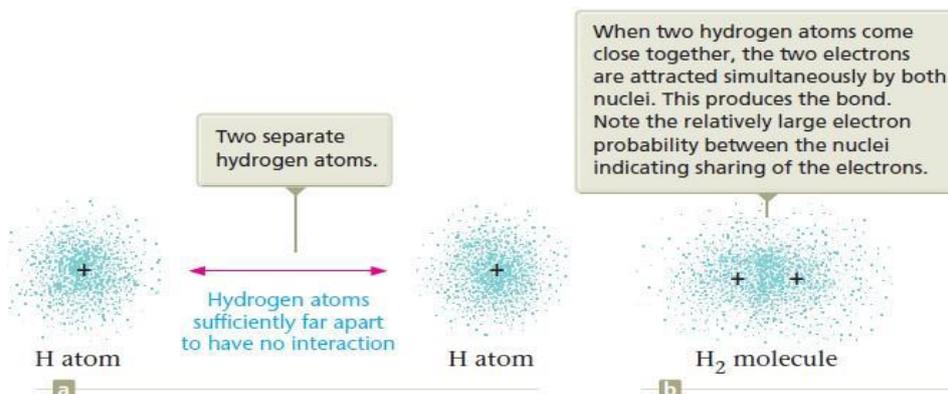
P = Daya yang digunakan (Watt)

2.7 Hidrogen

Hidrogen (bahasa Latin: hydrogenium, 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, bervaleksi tunggal, dan merupakan gas diatomik yang sangat mudah terbakar. Dengan massa atom 1,00794 amu, hidrogen adalah unsur teringan di dunia.

Hidrogen merupakan unsur paling melimpah dengan presentase lebih kurang 75% dari total massa unsur yang ada di alam semesta. Pada umumnya bintang tersusun atas hidrogen dalam keadaan plasma. Senyawa hidrogen relatif jarang ditemukan secara alami di bumi. Sebanyak 95% hidrogen yang digunakan saat ini berasal dari pemrosesan alam, sementara sisanya diproduksi secara elektrolisa (Steward, 2012).

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). Hidrogen juga dapat dihasilkan dari air melalui proses elektrolisis. Hidrogen atau H_2 mempunyai kandungan energi per satuan berat tertinggi, dibandingkan dengan bahan bakar manapun.



Gambar 2.4 Model atom hidrogen
Sumber: Zumdahl (2010)

Hidrogen merupakan komponen yang sangat minor di atmosfer, sekitar 0,5 ppm pada permukaan bumi. Pada ketinggian di atas 2500 km, atmosfer sebagian besar merupakan hidrogen atom pada tekanan sangat rendah. Di alam semesta secara keseluruhan, hidrogen menyusun sekitar 90% dari atom dan 75% dari massa. Di Bumi, hidrogen berada dalam lebih banyak senyawa dibandingkan unsur lain (Ralph H. Petrucci, 2008). Dengan model atom hidrogen seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.4

Hidrogen berada dalam bentuk molekul diatomik H_2 . Titik didihnya $-253^\circ C$ dan titik bekunya (titik leleh) $-259^\circ C$. Pada suhu kamar, hidrogen berbentuk gas dan massa molekulnya kecil sekali, menyebabkan gas ini mempunyai berat jenis yang paling ringan diantara semua gas (berat jenisnya hanya setengah dari berat jenis helium). Oleh sebab itu, hidrogen mempunyai daya mengangkat yang besar dalam balon, tetapi sangat sangat mudah sekali terbakar yang dapat menimbulkan bermacam-macam kecelakaan.

2.7.1 Karakteristik Hidrogen

Hidrogen adalah gas ringan (lebih ringan dari udara), tidak berwarna, tidak berbau, dan sangat mudah terbakar. Jika terbakar tidak menunjukkan adanya nyala dan akan menghasilkan panas yang sangat tinggi. Sifat fisik gas hidrogen dapat dilihat pada tabel 2.1

Tabel 2.1

Sifat Fisik Gas Hidrogen

Parameter	Keterangan
Titik lebur	$-259,14^\circ C$
Titik didih	$-252,87^\circ C$
Warna	tidak berwarna
Bau	tidak berbau
Densitas	$0,08988 \text{ g/cm}^3$ pada 293 K
Kapasitas panas	$14,304 \text{ J/g}^\circ K$

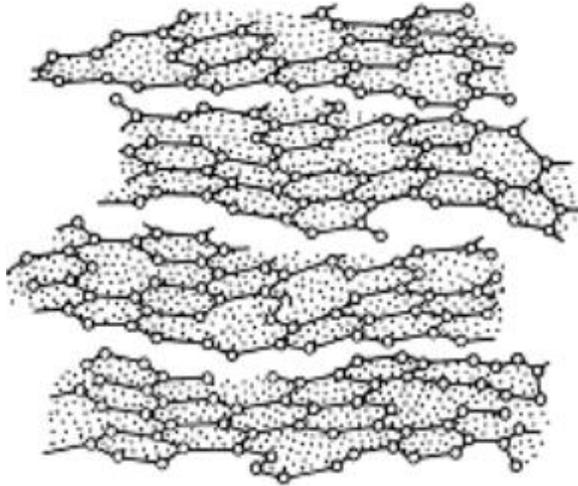
2.8 Karbon Aktif

Karbon aktif merupakan salah satu jenis karbon amorf yang tersusun paralel berbentuk cincin heksagonal menyerupai struktur grafit. Sifat fisika dari karbon aktif terutama ditentukan oleh ukuran pori dan luas permukaannya. Karbon aktif mempunyai luas permukaan yang cukup tinggi, yaitu berkisar antara $500-1500 \text{ m}^2\text{g}^{-1}$ dan volume pori berkisar antara $0,7 - 1,8 \text{ cm}^3\text{g}^{-1}$ (Cencen dan Aktas, 2012; Cotton dan Wilkinson, 1989).

Bahan dasar yang biasa digunakan sebagai karbon aktif adalah material organik dengan kandungan karbon yang tinggi. Penelitian tentang bahan karbon aktif yang murah dan tersedia banyak seperti tempurung kelapa, sekam padi, kayu, ampas tebu, dan tempurung kemiri telah banyak dilakukan untuk berbagai aplikasi (Juliandini dan Trihadiningrum, 2008).

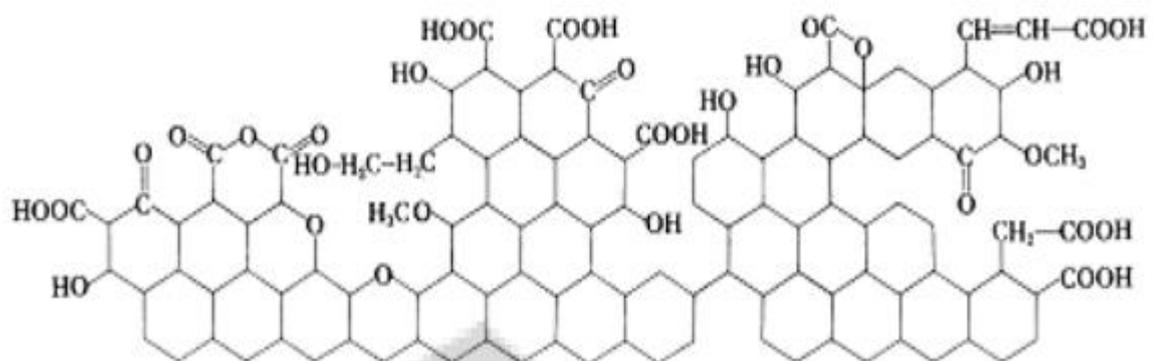
Struktur fisik karbon aktif mempunyai susunan seperti plat-plat, bedanya terletak pada tumpukan lapisan-lapisannya dimana tumpukan lapisan grafit lebih beraturan daripada lapisan karbon. Struktur dasar karbon aktif berupa struktur kristalin yang sangat kecil (mikrostalin). Karbon aktif memiliki bentuk amorf yang tersusun atas

lapisan bidang datar diaman atom-atom karbon tersusun dan terikat secara kovalen dalam tatanan atom-atom heksagonal. (Sudibandriyo, 2003). Bentuk lapisan-lapisan karbon aktif dapat diilustrasikan seperti Gambar 2.5.



Gambar 2.5 Lapisan atom karbon heksagonal
Sumber: Sudibandriyo (2003)

Dalam lapisan karbon, tidak hanya terdiri dari atom karbon tapi juga ada sedikit atom hidrogen dan oksigen terlihat pada Gambar 2.6 yang terikat pada gugus fungsi misalnya karboksil, fenol, dan eter. Gugus fungsi ini dapat berasal dari bahan baku karbon aktif dan bisa juga terbentuk selama proses aktivasi karena adanya interaksi radikal bebas permukaan karbon dengan oksigen atau nitrogen yang berasal dari atmosfer. Dan gugus fungsi ini yang menjadikan permukaan karbon aktif reaktif secara kimia dan dapat mempengaruhi sifat adsopsinya (Murti, 2008).



Gambar 2.6 Ilustrasi struktur kimia karbon aktif
Sumber: Sudibandriyo (2003)

Pada karbon aktif ini memiliki ikatan rangkap dan ikatan tunggal yang berselang seling. Ikatan rangkap dan ikatan tunggal tersebut berjumlah 6, antara lain 3 ikatan tunggal dan 3 ikatan rangkap yang tersusun berselang-seling. Ikatan rangkap dari karbon aktif ini memiliki sifat delokalisasi karena adanya perbedaan

muatan yang mengakibatkan ikatan rangkap pindah ke arah ikatan tunggal secara terus menerus. Berpindah-pindahnya ikatan rangkap ini yang menyebabkan adanya resonansi elektron. Dengan adanya resonansi elektron (lompatan elektron secara terus menerus dari ikatan rangkap ke ikatan tunggal) pada ikatan rangkap sehingga menimbulkan suatu medan magnet lemah.

2.8.1 Alga

Alga mempunyai peranan yang sangat penting dalam ekosistem biologi di lautan. Karena kemampuannya dalam proses fotosintesis, organisme fotosintetik termasuk alga merupakan sumber yang sangat kaya akan biomassa dan senyawa organik baru yang bersifat bioaktif. Banyak metabolit alga mempunyai struktur kimia yang unik, pembentukan senyawa ini sangat berbeda proses biosintesisnya dengan metabolit tumbuhan daratan dan mikroorganisme lainnya.

Alga hijau terdiri atas 8000 hingga 9000 spesies yang umumnya hidup di lingkungan air asin dan air tawar (Clayton and King, 1990). Studi biologi yang telah dilakukan terhadap alga hijau hingga saat ini masih terbatas pada dua famili saja, yaitu *Caulerpaceae* dan *Udoteaceae*. Umumnya senyawa kimia yang dihasilkan oleh jenis alga hijau adalah senyawa kimia terpenoid dan aromatik.

Banyaknya senyawa bioaktif dari alga dapat digunakan sebagai sumber bahan obat-obatan selain itu dari penelitian telah diketahui bahwa penggunaan alga dalam keadaan hidup dapat dimanfaatkan sebagai bioindikator tingkat pencemaran logam berat di lingkungan perairan sedangkan alga dalam bentuk biomassa terimmobilisasi dimanfaatkan sebagai biosorben (material biologi penyerap logam berat) dalam pengolahan air limbah kronis (Harris and Rammelow, 1990).

Pemanfaatan biomassa alga terkadang memiliki beberapa kelemahan yaitu ukurannya yang sangat kecil, berat jenis yang rendah, dan strukturnya mudah rusak akibat degradasi oleh mikroorganisme lain. Oleh karena itu pada penelitian kali ini alga akan digunakan sebagai katalis dalam bentuk karbon aktif untuk meningkatkan dalam pemanfaatannya.

2.8.1.1 Spektroskopi FTIR

Spektroskopi inframerah tertransformasi fourier (*Fourier Transformed Infrared*, FTIR) dapat mengukur secara cepat gugus fungsi tanpa merusak dan mampu menganalisis beberapa komponen secara serentak. Pada dasarnya Spektroskopi FTIR

adalah sama dengan spektroskopi IR dispersi, yang membedakannya adalah pengembangan pada sistem optiknya sebelum berkas sinar infra-merah melewati sampel (Rohaeti, 2011).

Frekuensi inframerah biasanya dinyatakan dalam satuan bilangan gelombang (*wavenumber*), yang didefinisikan sebagai banyaknya gelombang per sentimeter. Spektrum inframerah suatu senyawa dapat dengan mudah diperoleh dalam beberapa menit. Sedikit sampel senyawa diletakkan dalam instrumen dengan sumber radiasi inframerah. Spektroskopi secara otomatis membaca sejumlah radiasi yang menembus sampel dengan kisaran frekuensi tertentu dan merekam pada kertas berapa persen radiasi yang ditransmisikan. Radiasi yang diserap oleh molekul muncul sebagai pita pada spektrum.

Secara keseluruhan, analisis menggunakan Spektrofotometer ini memiliki dua kelebihan utama dibandingkan metoda konvensional lainnya, yaitu :

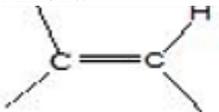
- a. Dapat digunakan pada semua frekwensi dari sumber cahaya secara simultan sehingga analisis dapat dilakukan lebih cepat daripada menggunakan cara sekuensial atau pemindaian.
- b. Sensitifitas dari metoda Spektrofotometri Fourier Transform Infra Red lebih besar daripada cara dispersi, sebab radiasi yang masuk ke sistim detektor lebih banyak karena tanpa harus melalui celah

Prinsip kerja spektroskopi FTIR adalah adanya interaksi energi dengan materi. Misalkan dalam suatu percobaan berupa molekul senyawa kompleks yang ditembak dengan energi dari sumber sinar yang akan menyebabkan molekul tersebut mengalami vibrasi. Sumber sinar yang digunakan adalah keramik, yang apabila dialiri arus listrik maka keramik ini dapat memancarkan infrared. Vibrasi dapat terjadi karena energi yang berasal dari sinar infrared tidak cukup kuat untuk menyebabkan terjadinya atomisasi ataupun eksitasi elektron pada molekul senyawa yang ditembak dimana besarnya energi vibrasi tiap atom atau molekul berbeda tergantung pada atom-atom dan kekuatan ikatan yang menghubungkannya sehingga dihasilkan frekuaensi yang berbeda pula. FTIR interferogramnya menggunakan mecrosem dan letak cerminnya (fixed mirror dan moving mirror) paralel. Spektroskopi inframerah berfokus pada radiasi elektromagnetik pada rentang frekuensi $400 - 4000 \text{ cm}^{-1}$ di mana cm^{-1} disebut sebagai wavenumber ($1/\text{wavelength}$) yakni suatu ukuran unit untuk frekuensi. Daerah panjang gelombang yang digunakan pada percobaan ini adalah daerah inframerah pertengahan ($4.000 - 200 \text{ cm}^{-1}$).

Interaksi antara materi berupa molekul senyawa kompleks dengan energi berupa sinar infrared mengakibatkan molekul-molekul bervibrasi dimana besarnya energi vibrasi tiap komponen molekul berbeda-beda tergantung pada atom-atom dan kekuatan ikatan yang menghubungkannya sehingga akan dihasilkan frekuensi yang berbeda.

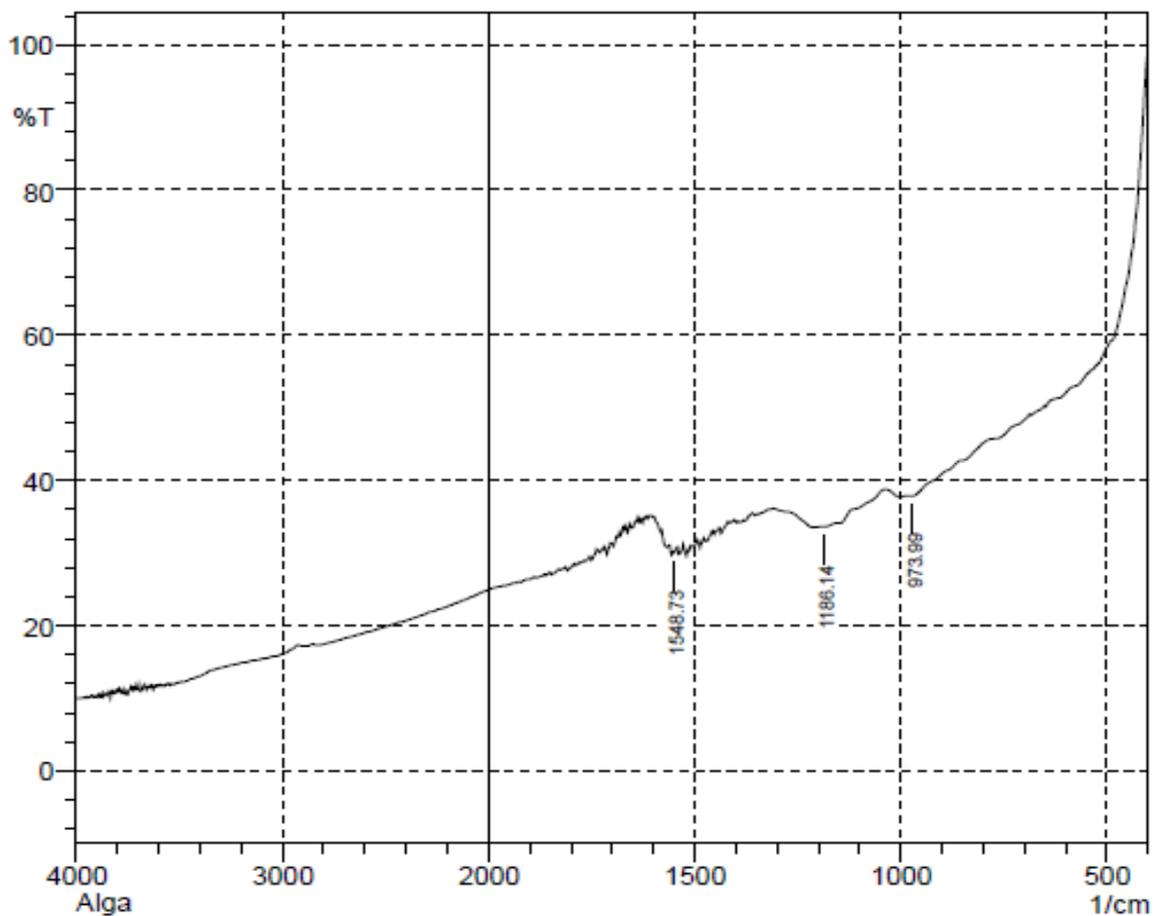
Analisis menggunakan *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR) juga dilakukan untuk melihat gugus-gugus fungsi pada permukaan karbon aktif yang diperlihatkan pada Gambar 2.7 dengan pembacaan spektra FTIR berdasarkan tabel daerah gugus fungsi IR seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2
Daerah Gugus Fungsi IR

Ikatan	Tipe Senyawa	Daerah Frekuensi (cm ⁻¹)	Intensitas
C – H	Alkana	1340 -1470	Kuat
C – H	Alkena 	2850 - 2970	Kuat
		675 – 995 3010 - 3095	Sedang Kuat
C – H	Alkuna 	3300	Kuat
C – H	Cincin Aromatik	690 – 900	Sedang
		3010 - 3100	Kuat
O – H	Fenol, monomer alkohol, alkohol ikatan hidrogen, fenol	3200 – 3600	Berubah – ubah,
		3590 – 3650	Berubah – ubah, terkadang melebar
N – H	Monomer asam karboksilat, ikatan hidrogen asam karboksilat	2500 – 2700	Sedang
		3500 - 3650	Melebar
N – H	Amina, amida	3300 - 3500	Sedang
C = C	Alkena	1610 - 1680	Berubah - ubah
C = C	Cincin Aromatik	1500 - 1600	Berubah - ubah
C – N	Amina, amida	1180 – 1360	Kuat
C ≡ C	Nitril	2210 - 2280	Kuat
C – O	Alkohol, eter, asam karboksilat, ester	1050 - 1300	Kuat
C = O	Aldehid, keton, asam karboksilat, ester	1690 - 1760	Kuat
NO ₂	Senyawa Nitro	1300 – 1370	Kuat
		1500 - 1570	Kuat

Sumber: Nieman (1998)

Berdasarkan uji FTIR pada Gambar 2.7 menunjukkan gugus fungsi karbon aktif dari alga. Pita serapan yang lebar dan kuat pada daerah 973.99 cm^{-1} mengindikasikan adanya C-H dengan tipe senyawa alkena. Pita serapan daerah 1186.14 cm^{-1} mengindikasikan gugus C-O, serapan tersebut menunjukkan adanya gugus alkohol (fenol). Selain itu terdapat pita serapan daerah 1548.73 cm^{-1} menunjukkan adanya gugus C=C dengan tipe senyawa cincin aromatik. Dengan masing-masing intensitas pita serapan daerah seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2.3.



Gambar 2.7 hasil FTIR karbon aktif alga
Sumber: Laboratorium Kimia FMIPA UB (2019)

Tabel 2.3
Data hasil FTIR

Puncak	Intensitas
973.99	37.389
1186.14	33.647
1548.73	30.027

Sumber: Laboratorium Kimia FMIPA UB (2019)

Dengan demikian dapat diketahui pada karbon aktif dari alga ini memiliki kandungan cincin aromatik yang dapat mendukung terciptanya medan magnet interal yang dapat mempengaruhi produksi hidrogen pada proses elektrolisis air.

2.8.2 Proses Pembuatan Karbon Aktif

Secara umum pembuatan karbon aktif berlangsung tiga tahap menurut Rozanna, Sri Irianty (2010), yaitu:

1. Proses Dehidrasi

Proses ini dilakukan dengan cara memanaskan bahan baku tersebut pada suhu 105 - 170°C selama 18 - 24 jam dengan tujuan untuk menguapkan seluruh kandungan air pada bahan baku.

2. Proses Karbonisasi

Proses ini dilakukan dengan cara pengubahan komposisi bahan baku yang mengandung karbon untuk memisahkan bahan non karbon yang terperangkap dalam bahan baku, sehingga sebagian besar yang tersisa dari bahan adalah karbon. Proses karbonisasi ini dilakukan pada suhu 450 - 750°C. Selain bahan non karbon, sebagian karbon akan ikut menguap karena bahan non karbon terikat pada rantai karbon, yaitu berupa CO (karbon monoksida), CO₂ (karbon dioksida) maupun hidrokarbon ringan yang berupa gas.

3. Proses Aktivasi

Proses Aktivasi adalah suatu perubahan fisika dimana permukaan karbon aktif menjadi jauh lebih banyak karena hidrokarbon yang terkandung dalam karbon dihilangkan. Untuk memperoleh karbon yang berpori dan luas permukaan yang besar dapat diperoleh dengan cara mengaktivasi bahan. Ada dua cara dalam melakukan proses aktivasi yaitu:

a. Aktivasi Fisika

Proses aktivasi ini dilakukan dengan mengalirkan aktivator dalam reaktor pada suhu tinggi. Aktivasi dengan uap air biasanya dilakukan pada suhu 750 - 900°C dan aktivasi dengan CO₂ (karbon dioksida) dilakukan pada suhu 850 - 1100°C. Namun aktivasi dengan CO₂ (karbon dioksida) jarang dilakukan karena reaksi yang terjadi adalah reaksi eksotermis sehingga lebih sulit untuk dikontrol. Proses ini harus mengontrol suhu, lama waktu aktivasi dan laju alir aktivator sehingga dihasilkan karbon aktif dengan susunan karbon yang padat dan memiliki pori-pori yang luas.

b. Aktivasi Kimia

Proses aktivasi ini dilakukan dengan cara merendam bahan baku pada bahan kimia seperti asam klorida (HCl), asam nitrat (HNO₃), asam fosfat (H₃PO₄), sianida

(CN), kalsium hidroksida ($\text{Ca}(\text{OH})_2$), kalsium klorida (CaCl_2), kalsium fosfat ($\text{Ca}(\text{PO}_4)_2$), natrium hidroksida (NaOH), kalium hidroksida (KOH), natrium sulfat (Na_2SO_4), zink klorida (ZnCl_2) dan natrium karbonat (Na_2CO_3) sebelum proses karbonisasi. Metode aktivasi kimia juga dapat dilakukan dengan merendam bahan baku yang telah dikarbonisasi.

2.9 Metode Produksi Hidrogen

Pada dasarnya, gas hidrogen dapat diproduksi dengan beberapa cara, diantaranya steam reforming, termokimia siklus sulfur-iodine dan elektrolisis (Alimah, 2008). Selain itu terdapat metode lain juga seperti Gasifikasi Biomassa dan PEC (Photoelectrochemical). Metode yang sekarang paling banyak digunakan adalah *steam reforming* yaitu dengan memurnikan bahan bakar fosil menjadi bahan bakar hidrogen. Berikut ini adalah beberapa metode untuk mendapatkan hidrogen yang sering dipakai :

1. *Steam reforming*

Steam Reforming merupakan sebuah proses dekomposisi termal yang paling banyak digunakan industri pada proses produksi hidrogen. Proses tersebut dilakukan dengan mereaksikan gas alam (metana, propana atau etana) dan direaksikan dengan steam pada suhu tinggi dengan bantuan katalis untuk menghasilkan hidrogen, karbon dioksida (CO_2) dan karbon monoksida (CO). Gas alam adalah bahan bakar fosil berbentuk gas yang terutama terdiri dari metana (CH_4) yang merupakan molekul hidrokarbon rantai pendek serta ringan. Gas alam juga mengandung molekul-molekul hidrokarbon lain yang lebih berat seperti etana (C_2H_6), propane (C_3H_8) dan butana (C_4H_{10}) (Alimah dkk, 2008).

2. *Thermochemical (Siklus sulfur - iodine)*

Siklus sulfur-iodine (S-I) merupakan sebuah proses untuk memproduksi hidrogen secara termokimia dengan cara memisahkan air menjadi hidrogen dan oksigen melalui reaksi kimia menggunakan suhu tinggi. Proses tersebut, mempunyai kelebihan yaitu memproduksi hidrogen dengan efisien dengan tidak mengemisikan gas CO_2 . (Alimah dkk, 2008)

3. Gasifikasi Biomassa

Gasifikasi Biomassa yaitu produksi hidrogen yang menggunakan panas, uap dan oksigen untuk mengubah biomassa menjadi hidrogen dan produk lain. Biomassa adalah sumber energi terbarukan yang berasal dari bahan baku ramah lingkungan (organik)

dimana termasuk sisa hasil pertanian seperti tongkol jagung dan jerami, sampah organik, dan limbah hewan (*animal wastes*). (Sari dkk, 2016).

4. Elektrolisis Air

Elektrolisis air merupakan proses pemecahan molekul air (H_2O) menjadi atom penyusunnya yaitu atom hidrogen (H_2) dan atom oksigen (O_2) dengan menggunakan energi listrik. Gas hidrogen akan muncul pada kutub negatif atau katoda sedangkan gas oksigen berkumpul pada kutub positif atau anoda. Proses ini akan digunakan dalam penelitian ini dan akan dibahas lebih lanjut dalam penelitian ini.

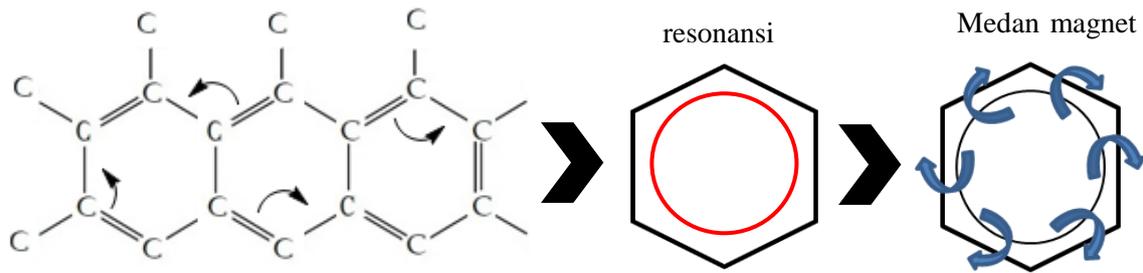
2.10 Kerangka Konsep Penelitian

2.10.1 Penambahan Karbon Aktif Alga

Pada penelitian kali ini di gunakan karbon aktif sebagai katalis dalam pemecahan ikatan hidrogen pada molekul air Karbon aktif tersusun dari grafit yang berbentuk tumpukan lembaran-lembaran graphene yang berlubang-lubang. *Graphene* adalah alotrop karbon yang berbentuk heksagonal dengan ketebalan hanya satu atom. *Graphene* ini memiliki sifat yang dapat memperbaiki struktur sprainya sendiri apabila terkena molekul yang mengandung karbon seperti hidrokarbon (Konstantine N, 2012).

Pemutusan ikatan kovalen dan ikatan hidrogen pada molekul air dimulai dari atom H dan O yang berikatan menjadi molekul H_2O , yang mana atom O akan bersifat negatif dan atom H akan bersifat positif dikarenakan atom O yang memiliki jumlah proton yang lebih banyak dari atom H maka elektron dari atom H akan tertarik dan berpindah ke atom O. Tertariknya atom H pada atom O akan muncul ikatan kovalen, sedangkan ikatan hidrogen akan muncul dari atom H pada molekul lain yang berikatan dengan atom O pada molekul lainnya, dikarenakan proton pada atom O di molekul air lain tetap memiliki daya tarik untuk menarik atom H meskipun terdapat pada molekul lain.

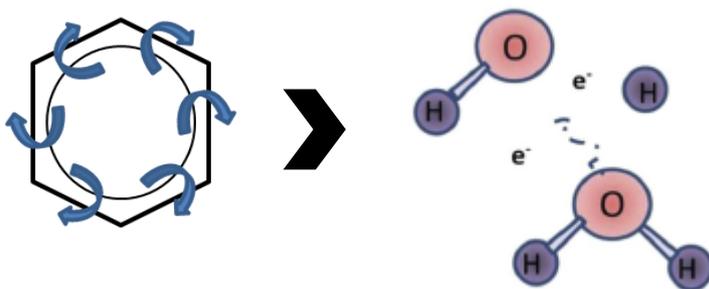
Pada karbon aktif ini memiliki ikatan rangkap dan ikatan tunggal yang berselang seling. Ikatan rangkap dan ikatan tunggal tersebut berjumlah 6, antara lain 3 ikatan tunggal dan 3 ikatan rangkap yang tersusun berselang-seling. Ikatan rangkap dari karbon aktif ini memiliki sifat delokalisasi karena adanya perbedaan muatan yang mengakibatkan ikatan rangkap pindah ke arah ikatan tunggal secara terus menerus. Berpindah-pindahnya ikatan rangkap ini yang menyebabkan adanya resonansi elektron yang terlihat pada Gambar 2.8. Dengan adanya resonansi elektron (lompatan elektron secara terus menerus dari ikatan rangkap ke ikatan tunggal) pada ikatan rangkap sehingga menimbulkan suatu medan magnet lemah.



Gambar 2.8 Ilustrasi pembentukan medan magnet karena adanya gaya resonansi
 Sumber: Dokumentasi Pribadi (2018)

Medan magnet dapat menyebabkan orbit elektron pada molekul menjadi lonjong karena pengaruh gaya tarik medan magnet, semakin lonjong maka jarak antar elektron akan semakin jauh dan akibatnya energi diionisasi akan semakin kecil (Wardana, 2008). Medan magnet lemah yang berasal dari carbon aktif ini akan memutuskan ikatan hidrogen pada molekul air, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.9.

Dengan terputusnya ikatan hidrogen maka akan mempermudah kerja arus listrik untuk memutus ikatan kovalen pada tiap molekul air. Pemutusan ikatan kovalen terjadi seperti pada elektrolisis air pada umumnya terjadi pada batang anoda dan katoda yang disambungkan dengan arus listrik dari sumber DC. Pada batang katoda akan menerima elektron dari H_2O sehingga akan memproduksi H_2 dan pada anoda akan menarik elektron dari H_2O sehingga akan memproduksi O_2 .



Gambar 2.9 Ilustrasi pemutusan ikatan hidrogen oleh medan magnet yang ditimbulkan oleh karbon aktif alga
 Sumber: Dokumentasi pribadi (2018)

2.11 Hipotesis

Berdasarkan konsep diatas, hipotesis yang dapat diambil adalah dengan penambahan karbon aktif alga yang merupakan unsur organik yang mengandung medan magnet internal dapat menyebabkan terputusnya ikatan hidrogen pada molekul air. Dengan terputusnya ikatan hidrogen maka kerja arus listrik untuk memutuskan ikatan kovalen pada airpun lebih mudah. sehingga kemampuan untuk menghantarkan arus pun akan semakin meningkat dengan demikian akan dapat meningkatkan produksi hidrogen

dalam proses elektrolisis air. Serta dengan bantuan karbon aktif ini akan menurunkan konsumsi penggunaan listrik dalam proses elektrolisis oleh akibat sifat magnetik yang terkandung pada karbon aktif alga tersebut, sehingga dapat meningkatkan efisiensi pada elektrolisis air.

BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode penelitian dengan melakukan eksperimental nyata (*true experimental research*). Metode ini digunakan untuk menguji suatu perlakuan dengan membandingkan satu atau kelompok pengujian dengan perlakuan atau tanpa perlakuan.

3.2 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian dilakukan pada bulan April hingga Mei 2019, bertempat di Studio Gambar Bersama, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya.

3.3 Variabel Penelitian

Penelitian ini menggunakan tiga macam variabel, yaitu:

1. Variabel Bebas

Variabel bebas adalah variabel yang besarnya telah ditentukan dan tidak dipengaruhi variabel lain. Dalam penelitian ini, variabel bebas adalah penambahan katalis karbon aktif yang berasal dari alga dengan 2 (dua) macam ppm yaitu 25 ppm dan 50 ppm.

2. Variabel Terikat

Variabel terikat adalah variabel yang nilainya bergantung dari variabel bebas dan hasilnya dapat diketahui setelah penelitian selesai dilakukan. Penelitian kali ini variabel terikat adalah pH, Temperatur, kuat arus listrik, efisiensi elektroliser wet cell, daya yang digunakan dan produktivitas gas hidrogen.

3. Variabel Terkendali

Variabel terkontrol adalah variabel yang besarnya telah ditentukan sebelum penelitian berlangsung dan bersifat konstan. Dalam penelitian ini variabel terkontrol adalah:

- Suhu ruang pengujian : 27°C
- Voltase : 10 Volt
- Tekanan ruang pengujian : 1 atm

- Volume air : 500 ml
- Elektrolit NaCl : 0,17 M

3.4 Alat-Alat dan Bahan-Bahan Penelitian

3.4.1 Alat-Alat Penelitian

1. AC/DC Adapter

Gambar 3.1 berfungsi sebagai pengubah arus dari AC ke DC, yang akan disambungkan dengan elektroda. Dengan output 24V dan 10A.



Gambar 3.1 Adaptor

2. Generator elektrolisis (*Elektrolizer*)

Gambar 3.2 digunakan sebagai penghasil gas Brown atau gas H₂ dan generator yang digunakan adalah tipe *wet cell*. Dengan daya tampung 600 ml.



Gambar 3.2 Komponen penyusun generator H₂

3. Timbangan Analitik

Timbangan analitik digunakan untuk mengukur massa elektrolit NaCl dan karbon aktif. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.3



Gambar 3.3 Timbangan analitik

- Merk : Fujitsu
- Ketelitian : 0,001 gram
- Kapasitas : 210 gram
- Type : FS-AR
- Pan size : 90 mm

4. Wadah Ukur dan Pencampur

Pada Gambar 3.4 selain digunakan untuk mencampurkan air dan NaCl tetapi juga digunakan sebagai pengukur volume air sebanyak 500 ml yang nantinya akan dimasukkan ke dalam elektroliser. Dengan daya tampung wadah tersebut 1 liter.



Gambar 3.4 Wadah pencampur

5. Tabung Ukur Volume

Pada Gambar 3.5 tabung ukur volume ini akan digunakan sebagai alat pembaca volume gas H₂ selama penelitian dan termasuk kedalam bagian elektroliser. Dengan volume 60 cm³ atau 60 ml tiap tabungunya.



Gambar 3.5 Tabung ukur volume

6. Digital Volt and Ampere Meter

Pada Gambar 3.6 digunakan sebagai pembaca arus yang bekerja dalam proses elektrolisis dan pengatur voltase yang akan digunakan selama proses berlangsung.



Gambar 3.6 Digital volt dan ampere meter

7. Stopwatch

Stopwatch digunakan sebagai pengatur waktu yang perlukan selama penelitian berlangsung.

3.4.2 Bahan–Bahan Penelitian

1. Katalis Karbon Aktif

Katalis karbon aktif yang digunakan pada penelitian ini untuk mempercepat reaksi elektrolisis air. Katalis karbon aktif yang digunakan adalah karbon aktif dari alga dapat dilihat pada Gambar 3.7.



Gambar 3.7 Katalis karbon aktif alga

2. Natrium Klorida

Natrium klorida digunakan sebagai elektrolit. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.8.



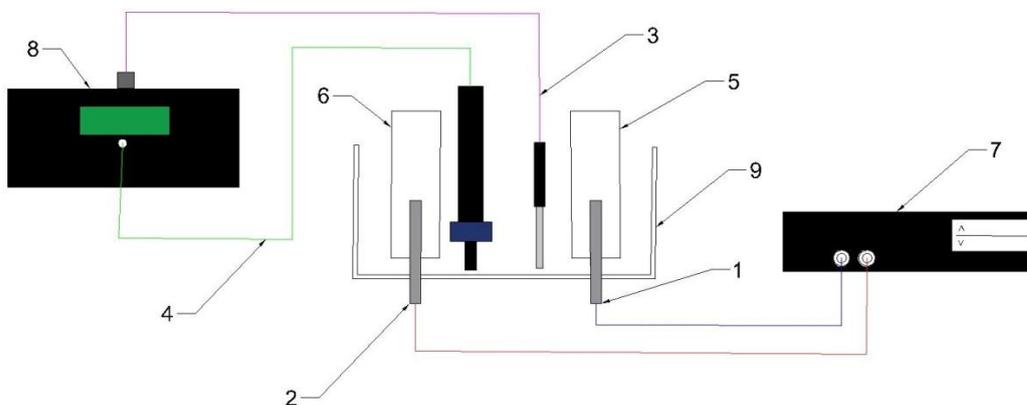
Gambar 3.8 Kristal natrium klorida

3. Air Aquades

Pelarut yang digunakan dalam penelitian kali ini adalah air aquades

3.5 Skema Instalasi Alat Penelitian

Peralatan yang digunakan dalam penelitian kemudian disusun sesuai skema instalasi sesuai Gambar 3.9.



Gambar 3.9 Skema instalasi alat penelitian

Keterangan:

1. *Elektrolizer*
2. *Adaptor AC/DC*
3. *Elektroda*
4. *Digital Volt and Ampere Meter*
5. *Tabung ukur volume Hidrogen*
6. *Tabung ukur volume Oksiden*
7. *Power Supply*
8. *Data logger*

3.6 Prosedur Pengambilan Data

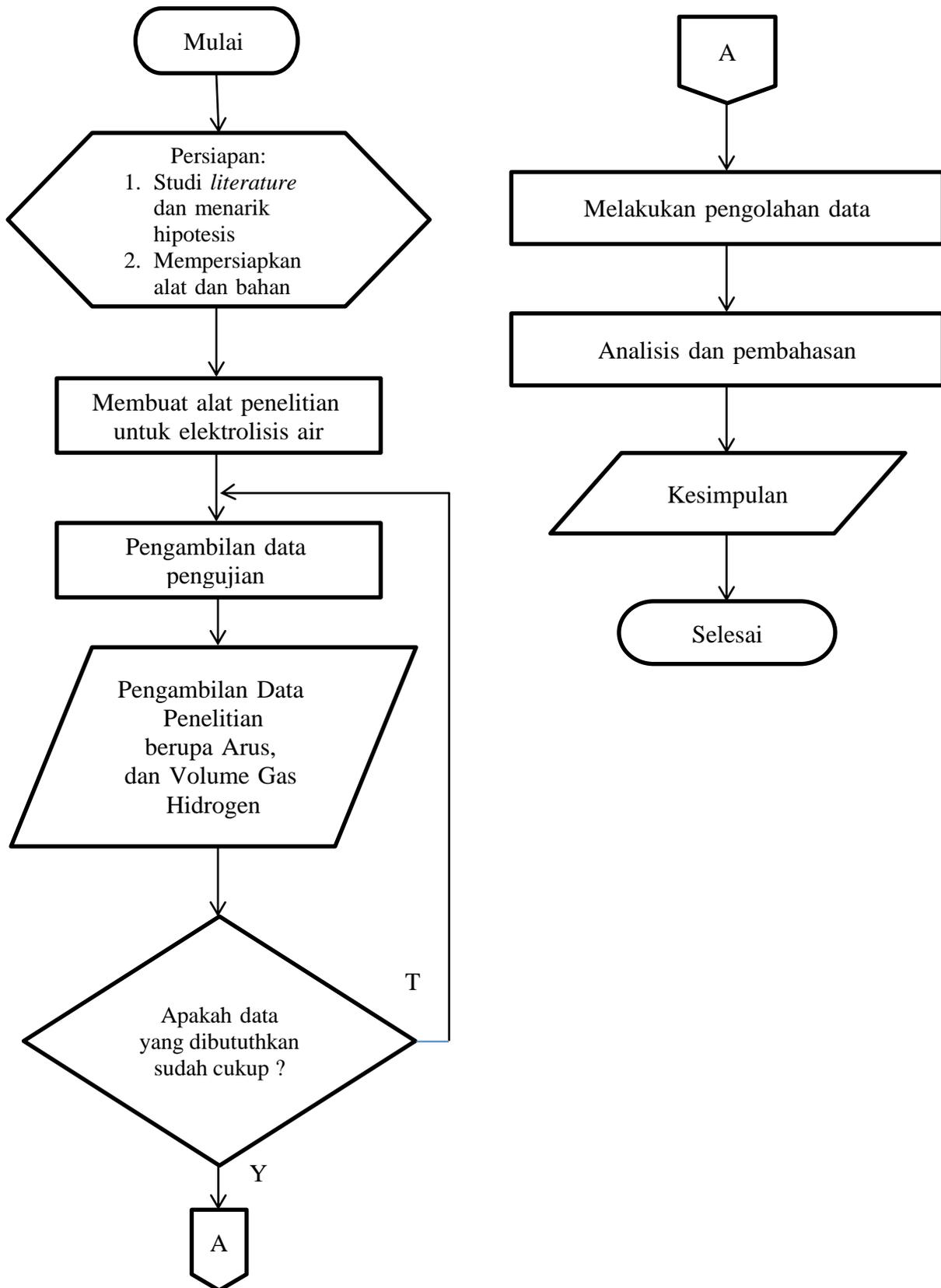
Prosedur pengambilan data meliputi:

1. Proses pembuatan larutan NaCl ditambah karbon aktif alga
 - a. Siapkan cairan aquades sebanyak 500 ml menggunakan wadah ukur, timbang NaCl sebanyak 5 gram, karbon aktif sebanyak 0,0250 dan 0,0125 gram dengan timbangan analitik.
 - b. Campurkan aquades 500 ml secara mekanik di dalam gelas ukur dengan Natrium Clorida sebanyak 5 gram.
 - c. Aduk hingga NaCl terlarut dengan sempurna.
 - d. Masukkan karbon aktif alga kedalam gelas ukur yang berisi campuran aquades dan natrium klorida sebanyak 50 ppm atau sama dengan 0,025 gram dan 24 ppm atau 0,012 gram.
 - e. Aduk hingga karbon aktif alga tercampur merata ke dalam larutan NaCl.
2. Proses pengambilan data
 - a. Persiapkan semua alat-alat penelitian ada ruang pengujian elektrolisis air sesuai dengan skema penelitian yang terdapat pada Gambar 3.9.
 - b. Persiapkan larutan elektrolit yang akan digunakan sebagai pengujian yaitu larutan elektrolit NaCl tanpa karbon aktif dan larutan elektrolit NaCl dengan karbon aktif.
 - c. Cek voltase pada *power supply* dan pastikan bahwa telah diatur pada 10 volt.
 - d. Cek dan pastikan sensor suhu dan pH telah terpasang dan dalam keadaan normal serta telah terkalibrasi dengan melihat pada layar digital yang terdapat pada alat.

- e. Pastikan dan atur posisi tabung ukur volume untuk mengukur volume H_2 telah terpasang dan terletak di atas elektroda.
- f. Pastikan dua buah kabel yang akan disambungkan ke katoda dan anoda telah tersambung dengan baik dari dan ke *power supply*.
- g. Tuangkan larutan elektrolit (tanpa atau dengan karbon aktif) yang akan di uji ke dalam elektrolizer hingga semua larutan elektrolit mengisi elektrolizer dan tabung ukur volume.
- h. Pastikan tidak ada udara yang terjebak pada tabung ukur volume sebagai pembaca volume gas H_2 saat proses elektrolisis dimulai.
- i. Pengambilan data gas hidrogen, arus, pH dan temperatur dapat dimulai dengan menekan tombol saklar *power supply*.
- j. Catat kenaikan gas hidrogen, arus, pH dan temperatur mulai menit ke 0 sampai menit ke 10 dengan interval 1 menit tiap pengambilan data.
- k. Pada menit ke 10, matikan saklar *power supply* dan buang larutan elektrolit pengujian pertama.
- l. Ulangi prosedur pada larutan elektrolit berikutnya dan catat hasilnya.

3.7 Diagram Alir Penelitian

Gambar 3.10 merupakan diagram alir penelitian pada penelitian kali ini.



Gambar 3.10 Diagram alir penelitian

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Penelitian

Pada penelitian kali ini, analisa data yang diperoleh merupakan data pengaruh penambahan katalis karbon aktif alga dengan jumlah penambahan karbon aktif alga 25 ppm dan 50 ppm, sehingga di dapatkan data pH, temperatur, arus, jumlah gas hidrogen dan efisiensi gas hidrogen pada tiap penambahan karbon aktif sejumlah 25 ppm, 50 ppm dan tanpa penambahan katalis karbon aktif. Data tersebut mulai didapatkan pada menit ke 0 sampai menit ke 10. Berikut merupakan contoh perhitungan variasi penambahan katalis karbon aktif alga 25 ppm pada menit ke 1 dari tabel 4.2 :

1. Daya Elektrolizer

Proses elektrolisis sangat dipengaruhi oleh aliran arus listrik (Ampere) dan tegangan (volt) yang di alirkan pada rangkaian elektrolizer yang nantinya akan mempengaruhi produktivitas gas hidrogen. Pada proses reaksi elektrolisis besar energi yang dipakai merupakan arus listrik dan voltase. Besar energi tersebut dapat dihitung berdasarkan persamaan (2-2) berikut :

$$P = V.I$$
$$= 10. 0,18$$

$$P = 1,8 \text{ j/s}$$

2. Produktivitas Gas Hidrogen

Produktivitas gas hidrogen merupakan volume gas hidrogen yang dihasilkan pada proses elektrolisis air tiap satuan waktu untuk menghasilkan gas hidrogen. Sehingga di dapatkan sesuai persamaan (2-3) dibawah ini :

$$Q = V H_2 / t$$
$$= 0,001/60$$

$$Q = 1,667.10^{-5} \text{ ml/s}$$

3. Efisiensi Elektrolizer

Dalam menentukan efisiensi terdapat beberapa parameter yang harus diketahui terlebih dahulu, diantaranya massa jenis H_2 , HHV dari gas H_2 dan Produktivitas gas H_2 serta daya elektrolizer. Dalam menentukan efisiensi dalam memproduksi gas H_2 pada elektrolisis air ini dapat ditentukan dengan persamaan dibawah ini, yang mana

jika pada kondisi STP (*standart temperature pressure*) massa jenis hidrogen (H_2) $\rho_{H_2} = 0,08988$ gr/l (Cole Parmer Instrument, 2005) dan HHV H_2 adalah 141880 j/gr.

Sehingga dapat diketahui secara teoritis perhitungan efisiensi generator H_2 dapat ditunjukkan pada persamaan dibawah ini.

$$\eta = \frac{\text{energi yang dimiliki } H_2 \text{ hasil elektrolisis}}{\text{energi yang dibutuhkan untuk memproduksi gas } H_2} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{QH_2 \times \rho_{H_2} \times \text{HHV } H_2}{P} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{1,67 \cdot 10^{-5} \text{ lt/s} \times 0,08988 \text{ gr/lt} \times 141880 \text{ j/gr}}{1,8 \text{ j/s}} \times 100\%$$

$$\eta = 11,80757 \%$$

4.1.1 Elektrolisis Air Konvensional (0 ppm)

Pada penelitian ini, didapatkan data pH, temperatur, arus, jumlah gas hidrogen dan efisiensi pada elektrolisis konvensional. Ditunjukkan pada tabel 4.1 dibawah ini

Tabel 4.1

Data Elektrolisis Air Konvensional (0 ppm)

Waktu (s)	pH	T (°C)	I (A)	V H ₂ (lt)	V (volt)	P (j/s)	Q (lt/s)	ρ_{H_2} (g/lt)	HHV (j/g)	η (%)
0	6,55	24,7	0,16	0	10	1,6	0	0,08988	141880	0
60	6,55	24,7	0,17	0,001	10	1,7	$1,667 \cdot 10^{-5}$	0,08988	141880	12,50
120	6,55	24,76	0,18	0,0025	10	1,8	$2,083 \cdot 10^{-5}$	0,08988	141880	14,76
180	6,51	24,76	0,19	0,004	10	1,9	$2,222 \cdot 10^{-5}$	0,08988	141880	14,91
240	6,51	24,76	0,19	0,006	10	1,9	0,000025	0,08988	141880	16,78
300	6,51	24,76	0,19	0,0075	10	1,9	0,000025	0,08988	141880	16,78
360	6,56	24,76	0,19	0,009	10	1,9	0,000025	0,08988	141880	16,78
420	6,56	24,82	0,2	0,0105	10	2	0,000025	0,08988	141880	15,94
480	6,56	24,82	0,2	0,012	10	2	0,000025	0,08988	141880	15,94
540	6,55	24,85	0,2	0,014	10	2	$2,593 \cdot 10^{-5}$	0,08988	141880	16,53
600	6,55	24,95	0,2	0,0155	10	2	$2,583 \cdot 10^{-5}$	0,08988	141880	16,47

4.1.2 Elektrolisis Air dengan Penambahan 25 ppm Karbon Aktif Alga

Pada penelitian ini, didapatkan data pH, temperatur, arus, jumlah gas hidrogen dan efisiensi pada elektrolisis air dengan penambahan 25 ppm karbon aktif alga. Ditunjukkan pada tabel 4.2.

Tabel 4.2

Data Elektrolisis Air dengan Penambahan 25 ppm Karbon Aktif Alga

Waktu (s)	pH	T (°C)	I (A)	V H ₂ (lt)	V (volt)	P (j/s)	Q (lt/s)	ρ H ₂ (g/lt)	HHV (j/g)	η (%)
0	7,39	24,7	0,16	0	10	1,6	0	0,08988	141880	0
60	7,28	24,76	0,18	0,001	10	1,8	$1,667 \cdot 10^{-5}$	0,08988	141880	11,81
120	7,28	24,76	0,18	0,0025	10	1,8	$2,083 \cdot 10^{-5}$	0,08988	141880	14,76
180	7,28	24,76	0,19	0,0045	10	1,9	0,000025	0,08988	141880	16,78
240	7,19	24,8	0,19	0,0065	10	1,9	$2,708 \cdot 10^{-5}$	0,08988	141880	18,18
300	7,15	24,82	0,19	0,008	10	1,9	$2,667 \cdot 10^{-5}$	0,08988	141880	17,90
360	7,13	24,82	0,19	0,01	10	1,9	$2,778 \cdot 10^{-5}$	0,08988	141880	18,64
420	7,07	24,84	0,19	0,0115	10	1,9	$2,738 \cdot 10^{-5}$	0,08988	141880	18,38
480	7	24,86	0,19	0,013	10	1,9	$2,708 \cdot 10^{-5}$	0,08988	141880	18,18
540	7	24,9	0,2	0,015	10	2	$2,778 \cdot 10^{-5}$	0,08988	141880	17,71
600	7	24,95	0,2	0,0165	10	2	0,0000275	0,08988	141880	17,53

4.1.3 Elektrolisis Air dengan Penambahan 50 ppm Karbon Aktif Alga

Pada penelitian ini, didapatkan data pH, temperatur, arus, jumlah gas hidrogen dan efisiensi pada elektrolisis air dengan penambahan 50 ppm karbon aktif alga. Ditunjukkan pada Tabel 4.3 dibawah ini.

Tabel 4.3

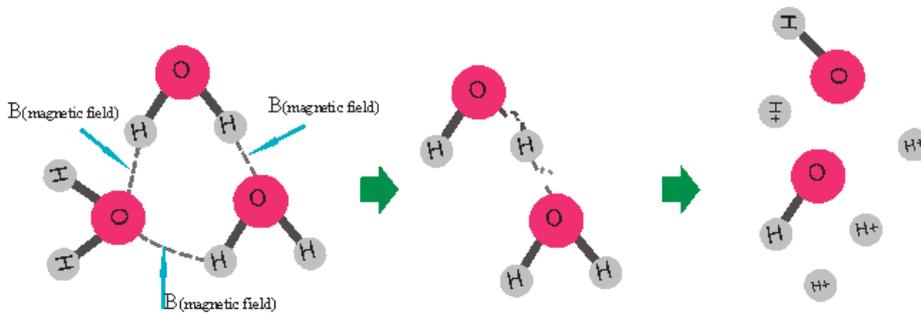
Data Elektrolisis Air dengan Penambahan 50 ppm Karbon Aktif Alga

Waktu (s)	pH	T (°C)	I (A)	V H ₂ (lt)	V (volt)	P (j/s)	Q (lt/s)	ρ H ₂ (g/lt)	HHV (j/g)	η (%)
0	7	24,7	0,16	0	10	1,6	0	0,08988	141880	0
60	7	24,76	0,16	0,0015	10	1,6	0,000025	0,08988	141880	19,93
120	6,82	24,76	0,17	0,003	10	1,7	0,000025	0,08988	141880	18,75
180	6,82	24,76	0,18	0,005	10	1,8	$2,78 \cdot 10^{-5}$	0,08988	141880	19,68
240	6,82	24,82	0,18	0,007	10	1,8	$2,92 \cdot 10^{-5}$	0,08988	141880	20,66
300	6,68	24,82	0,19	0,009	10	1,9	0,00003	0,08988	141880	20,14
360	6,64	24,82	0,19	0,011	10	1,9	$3,056 \cdot 10^{-5}$	0,08988	141880	20,51
420	6,44	24,82	0,19	0,013	10	1,9	$3,095 \cdot 10^{-5}$	0,08988	141880	20,77
480	6,34	24,89	0,2	0,015	10	2	0,00003125	0,08988	141880	19,93
540	6,34	24,95	0,2	0,017	10	2	$3,148 \cdot 10^{-5}$	0,08988	141880	20,07
600	6,28	24,95	0,2	0,0185	10	2	$3,083 \cdot 10^{-5}$	0,08988	141880	19,66

4.2 Analisis dan Pembahasan

4.2.1 Pengaruh Penambahan Karbon Aktif Terhadap pH, Temperatur, Arus, dan Volume Gas Hidrogen

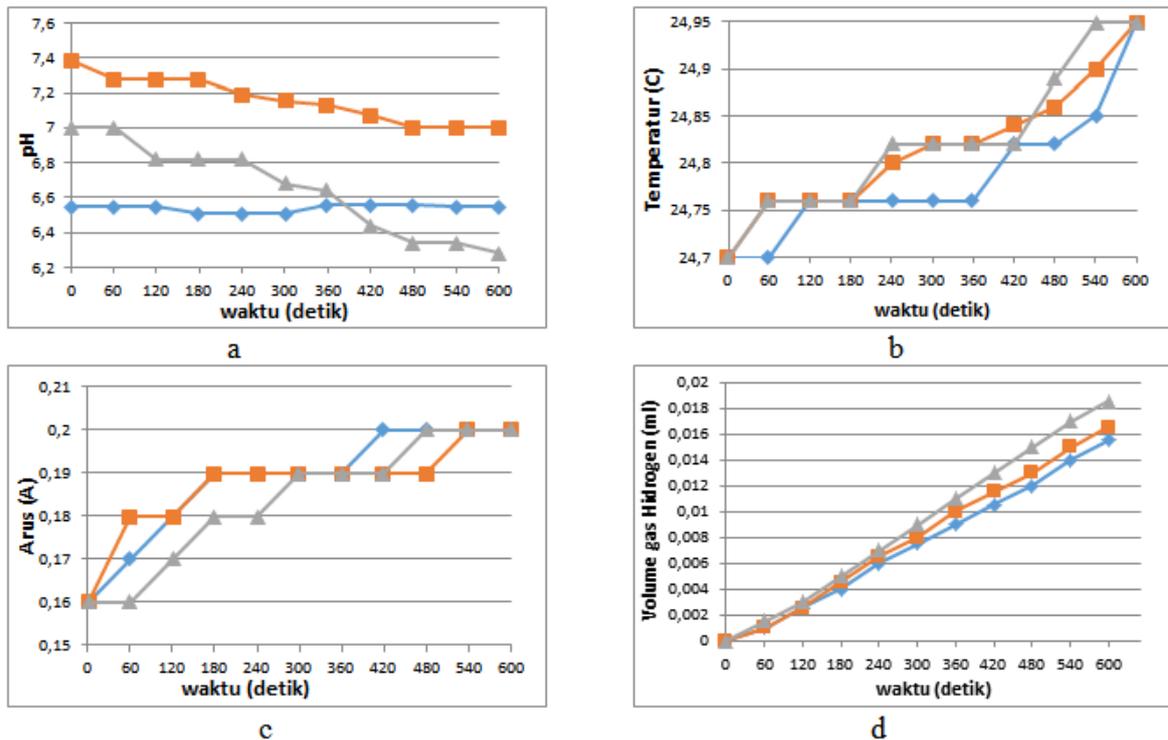
Hasil data yang diperoleh dari penelitian ini yaitu dari Gambar 4.2a didapatkan perbedaan pH saat proses elektrolisis air dengan menggunakan karbon aktif yaitu pH larutan elektrolit mengalami penurunan. Hal ini disebabkan oleh bertambahnya ion H^+ pada larutan elektrolit. Bertambahnya ion H^+ ini dikarenakan ion H^+ pada molekul air terlepas dari ikatan kovalen dan ikatan hidrogen dikarenakan hadirnya *internal magnetic field* dari karbon aktif sehingga jarak antara atom O dan atom H yang saling berikatan tersebut semakin jauh. Sesuai dengan hukum Coulomb; $F = k.(q_1.q_2)/r^2$, dengan semakin jauh jarak antar atom maka gaya tarik menarik akan semakin lemah hingga akhirnya putus. Seperti yang ditunjukkan pada ilustrasi Gambar 4.1 dibawah ini



Gambar 4.1 Ilustrasi pengaruh karbon aktif terhadap pH

Pada Gambar 4.2a ditunjukkan terdapat perbedaan pH di menit ke 0 (sebelum elektrolisis dimulai). Hal ini disebabkan oleh bertambahnya ion OH^- pada larutan. Bertambahnya ion OH^- ini karena saat proses aktivasi karbon aktif menggunakan KOH menghasilkan gugus fungsi alkenol pada karbon aktif dan pada saat karbon aktif tersebut dicampurkan pada larutan elektrolit maka gugus fungsi OH^- tersebut terputus dari karbon aktif sehingga menghasilkan ion OH^- pada larutan elektrolit. Hal itu yang menyebabkan pada menit ke 0 larutan menjadi lebih basa.

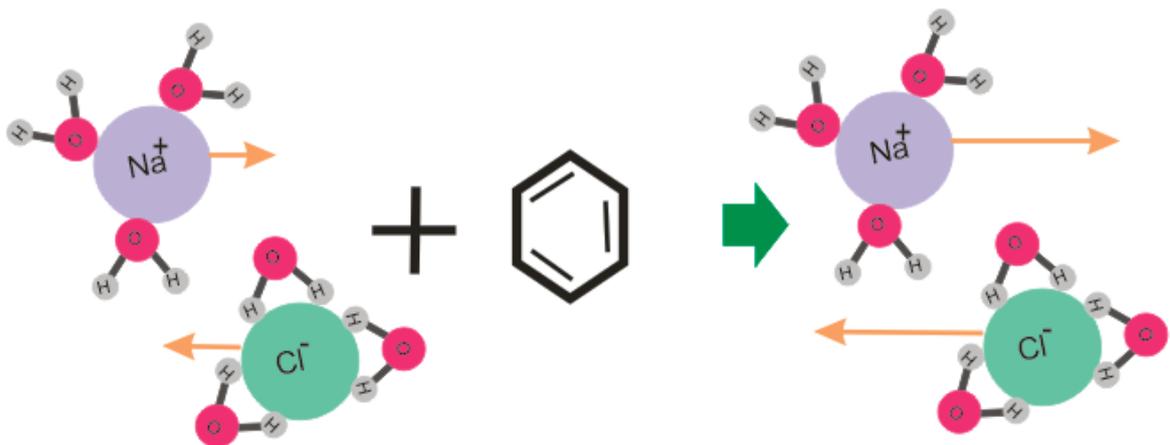
Semakin bertambahnya jumlah karbon aktif yang dilarutkan pada larutan elektrolisis air maka nilai pH akan semakin turun. Hal ini disebabkan oleh semakin besar pula medan magnet yang dihasilkan dari karbon aktif. Dengan semakin besarnya medan magnet maka kemampuan memutuskan ikatan hidrogen akan semakin meningkat pula. Sehingga ion H^+ akan semakin banyak yang berarti larutan akan semakin asam. Semakin asamnya suatu larutan maka kemampuan menghantarkan arus pun juga semakin meningkat (Khairiah, 2017).



keterangan warna : ◆ 0 ppm, ■ 25 ppm, ▲ 50 ppm karbon aktif

Gambar 4.2 Pengaruh penambahan karbon aktif terhadap (a) pH, (b) temperatur, (c) Arus dan (d) volume gas hidrogen

Arus yang semakin meningkat ini mengindikasikan bahwa hambatan pada larutan menjadi semakin kecil dan mobilitas elektron yang semakin besar. Mobilitas elektron yang semakin besar ini akibat dari *internal magnetic field* pada karbon aktif yang telah memutuskan ikatan hidrogen pada molekul air sehingga pergerakan ion untuk mengalirkan arus dari anoda ke katoda menjadi lebih cepat. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.2c dapat di lihat data kuat arus dengan penambahan karbon aktif derajat gradien dari grafik yang dihasilkan dengan penambahan karbon aktif menunjukkan peningkatan.



Gambar 4.3 Ilustrasi pengaruh karbon aktif terhadap mobilitas elektron

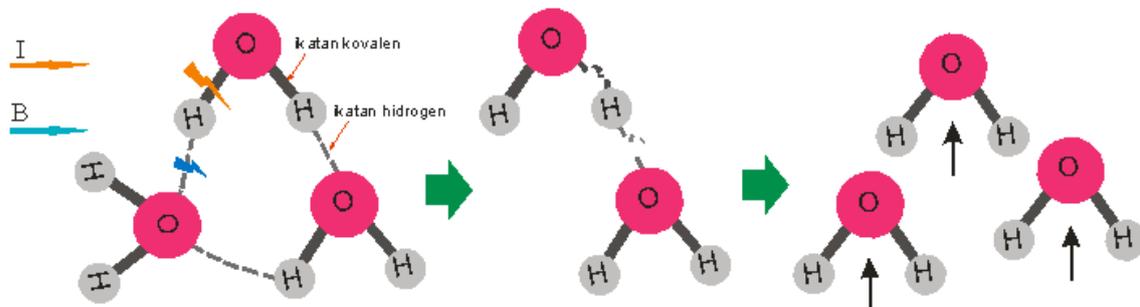
Ditunjukkan pula pada Gambar 4.2c, semakin bertambahnya karbon aktif maka hambatan pada larutan di awal proses elektrolisis akan semakin meningkat, akan tetapi seiring berjalannya waktu kemampuan menghantarkan arusnya pun akan semakin meningkat. Hal itu terjadi karena pada menit awal, kemampuan dari *internal magnetic field* pada karbon aktif belum sepenuhnya bekerja dan hanya menjadi penghambat, akan tetapi seiring bertambahnya waktu kemampuan dari *internal magnetic field* untuk memutuskan ikatan hidrogen mejadi semakin meningkat sehingga pergerakan ion untuk mengalirkan arus dari anoda ke katoda menjadi lebih cepat. Hal ini ditunjukkan pada Gambar 4.3. Dengan semakin meningkatnya kemampuan mengalirkan arus maka pemutusan ikatan hidrogen dan kovalen juga semakin meningkat sehingga produksi hidrogen juga akan semakin meningkat.

Dengan pergerakan yang semakin cepat maka dapat mempengaruhi temperatur larutan elektrolit seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.2b dengan penambahan karbon aktif pada proses elektrolisis air, temperatur menjadi meningkat. Hal ini disebabkan oleh frekuensi pergerakan atau bergetarnya atom pada larutan yang juga meningkat. Meningkatnya frekuensi pergerakan atom ini disebabkan oleh semakin meningkatnya energi kinetik tiap molekul. Meningkatnya energi kinetik tiap molekul ini dikarenakan atom O yang memiliki ke elektronegatifan yang tinggi sehingga kemasifan atom untuk menumbuk atom lainnya menjadi lebih tinggi. hal itu terjadi setelah *internal magnetic field* dari karbon aktif memutuskan ikatan hidrogen sehingga atom O dapat bergerak dan menumbuk molekul atau atom lainnya. Dengan demikian produksi hidrogen dapat meningkat.

Dari Gambar 4.2b dapat di lihat peningkatan temperatur seiring bertambahnya jumlah karbon aktif yang dicampurkan pada larutan. Hal itu menunjukkan medan magnet internal yang terkandung pada karbon aktif juga semakin bertambah sehingga meningkatkan tumbukan atom dan meningkatkan pergerakan atom sehingga temperatur larutan juga semakin meningkat. Dengan meningkatnya temperatur maka produksi hidrogen akan semakin meningkat.

Peningkatan produksi hidrogen ini terjadi akibat terputusnya ikatan hidrogen dan ikatan kovalen pada molekul air. Terputusnya ikatan hidrogen dan kovalen disebabkan oleh beberapa hal yaitu medan magnet internal yang terkandung pada karbon aktif akan memaksa sifat diamagnetik air untuk menyeragamkan arah dipol air sehingga menimbulkan momen dipol yang dapat melemahkan ikatan hidrogen antar molekul air, seperti yang diilustrasikan pada Gambar 4.4. Kemudian, gaya tarik menarik yang semakin

lemah hingga sampai menyebabkan terputusnya ikatan hidrogen karena jarak antar molekul yang semakin jauh dan orbit dari molekul atau atom yang semakin lonjong, dengan semakin lonjong dan jauhnya antar atom atau molekul maka energi ionisasi akan semakin kecil dalam artian tidak dibutuhkan energi yang banyak untuk melepaskan elektron keluar dari suatu orbit. Lalu, meningkatnya ion H^+ (semakin asam) dan mobilitas elektron pada larutan elektrolit sehingga kemampuan menghantarkan arus pun akan semakin meningkat, seperti yang diilustrasikan pada Gambar 4.1 dan Gambar 4.3. Serta sesuai dengan persamaan (coey, 2012); $F = q (E + Bv)$ dimana dengan hadirnya medan magnet maka akan meningkatkan gaya lorentz sehingga ion mendapat tambahan gaya untuk memutuskan ikatan hidrogen dan kovalen. Dari Gambar 4.2d dapat dilihat dengan keberadaan karbon aktif pada larutan elektrolit pada proses elektrolisis air dapat meningkatkan produksi hidrogen.

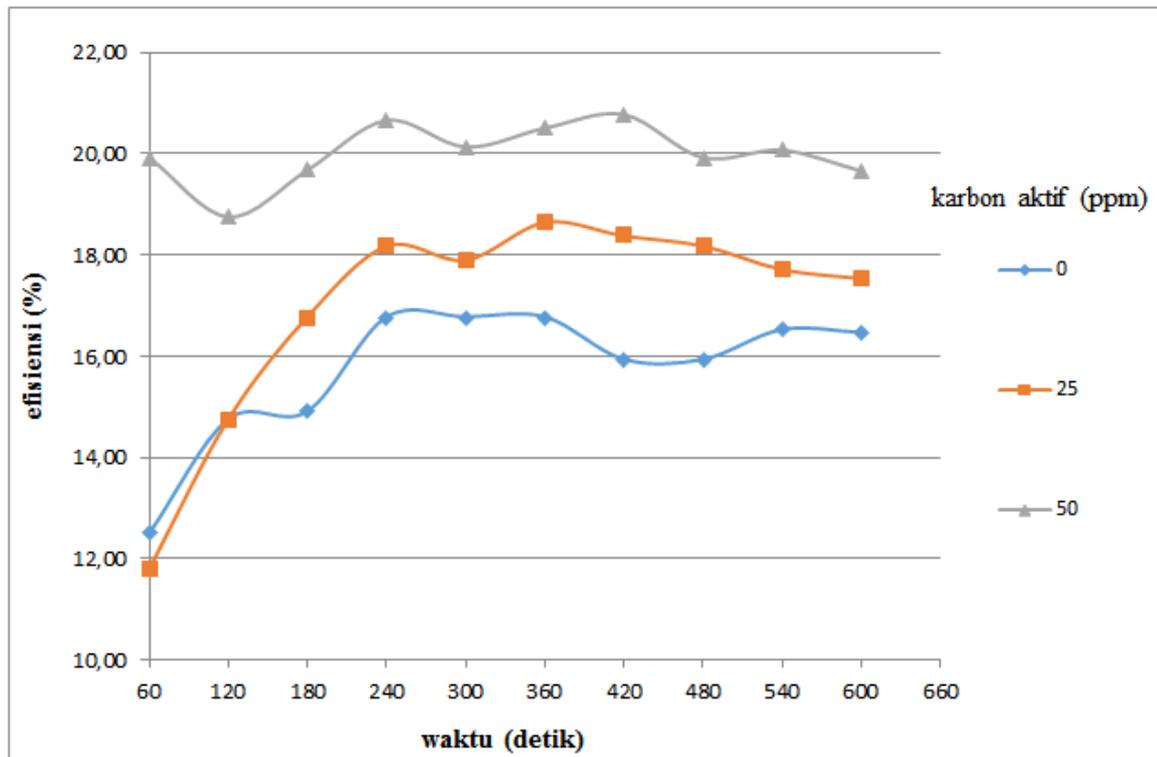


Gambar 4.4 Ilustrasi medan magnet untuk menyeragamkan arah dipol air

Pada Gambar 4.2d ditunjukkan dengan semakin banyaknya karbon aktif maka kemampuan untuk memutuskan ikatan hidrogen dan kovalen pun akan semakin meningkat. Dengan demikian, produksi hidrogen juga akan semakin meningkat.

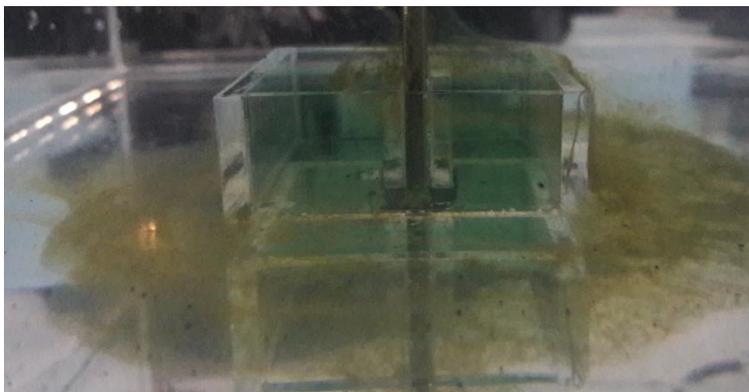
Berdasarkan data pengaruh karbon aktif terhadap pH, temperatur dan arus, menunjukkan bahwa dengan pH yang semakin menurun dan temperatur yang semakin meningkat menyebabkan arus juga semakin meningkat, sehingga kemampuan untuk memutuskan ikatan hidrogen dan kovalen juga akan semakin meningkat. Dengan semakin banyaknya terputusnya ikatan hidrogen dan kovalen maka produksi hidrogen semakin bertambah

4.2.2 Pengaruh Penambahan Karbon Aktif Terhadap Efisiensi Elektrolisis Air



Gambar 4.5 Pengaruh penambahan karbon aktif terhadap efisiensi elektrolisis air

Pada Gambar 4.5 dapat dilihat dengan menggunakan karbon aktif dapat meningkatkan efisiensi elektrolisis air. Hal ini disebabkan pengaruh medan magnet internal dan kemampuan menghantarkan arus untuk meningkatkan produksi hidrogen tiap waktu. Dalam penggunaan karbon aktif, semakin bertambahnya jumlah karbon aktif maka efisiensi elektrolisis akan semakin meningkat. Hal ini dikarenakan semakin bertambahnya medan magnet internal dan kemampuan menghantarkan arus maka akan meningkatkan produksi hidrogen tiap waktu.



Gambar 4.6 Endapan Na^+ saat proses elektrolisis air

Fluktuatif efisiensi tiap waktu ini dikarenakan endapan Na^+ pada waktu tertentu. Dengan hadirnya endapan Na^+ ini dapat menambah hambatan listrik pada proses

elektrolisis air. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.6 Sehingga kemampuan memutuskan ikatan hidrogen dan kovalen menjadi menurun.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari analisis dan pembahasan data penelitian tentang pengaruh penggunaan karbon aktif dari alga terhadap produksi hidrogen pada proses elektrolisis air, dapat diambil beberapa kesimpulan yaitu keberadaan karbon aktif pada larutan elektrolisis air yang pada akhirnya dapat menurunkan nilai pH larutan, meningkatkan nilai temperatur, meningkatkan arus, meningkatkan produksi hidrogen dan efisiensi elektrolisis air. Serta semakin bertambahnya karbon aktif maka kemampuan *internal magnetic field* untuk memutuskan ikatan hidrogen dan mempengaruhi ikatan kovalen akan menjadi meningkat sehingga produksi hidrogen dan efisiensi elektrolisis air menjadi lebih meningkat.

5.2 Saran

1. Untuk penelitian selanjutnya diharapkan dapat meneliti bahan yang mengandung *aromatic* lainnya yang dapat digunakan sebagai katalis dalam produksi gas hidrogen menggunakan elektrolisis air.
2. Untuk penelitian elektrolisis air dengan karbon aktif alga selanjutnya dapat menentukan tingkatan konsentrasi katalis yang mencapai titik maksimal penggunaan katalis karbon aktif alga.
3. Perlu dilakukan uji karakteristik fisika dan kimia dari karbon aktif alga saat pencampuran dengan larutan elektrolit pada elektrolisis air untuk mengetahui pengaruhnya terhadap produksi hidrogen dan efisiensinya.

DAFTAR PUSTAKA

- Adib, M., Al-qodah, Z. and Ngah, C. W. Z. (2015) 'Agricultural bio-waste materials as potential sustainable precursors used for activated carbon production : A review', *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Elsevier, 46, pp. 218–235. doi: 10.1016/j.rser.2015.02.051.
- Affairs, Q. (2016) 'ScienceDirect Impact of the voltage fluctuation of the power supply on the efficiency of alkaline water electrolysis a', 1, pp. 4–11. doi: 10.1016/j.ijhydene.2016.05.141.
- Affairs, Q. (2016) 'ScienceDirect Impact of the current fluctuation on the efficiency of Alkaline Water Electrolysis a', 2, pp. 2–9. doi: 10.1016/j.ijhydene.2016.11.142.
- Atkins, P W.1999. *Kimia Fisika Jilid 2*. Jakarta: Airlangga.
- Badan pusat statistik. (2017). *Produksi jumlah kendaraan dalam negeri (unit), 2000-2016*. Jakarta : BPS.
- Bidin, N. et al. (2016) 'ScienceDirect The effect of sunlight in hydrogen production from water electrolysis', *International Journal of Hydrogen Energy*. Elsevier Ltd, 42(1), pp. 133–142. doi: 10.1016/j.ijhydene.2016.11.203.
- Bidin, N. et al. (2017) 'ScienceDirect The effect of magnetic and optic field in water electrolysis', *International Journal of Hydrogen Energy*. Elsevier Ltd, 42(26), pp. 16325–16332. doi: 10.1016/j.ijhydene.2017.05.169.
- BP Statistical Review of World Energy June 2012.
- Cai, R. et al. (2009) 'The effects of magnetic fields on water molecular hydrogen bonds', *Journal of Molecular Structure*. Elsevier B.V., 938(1–3), pp. 15–19. doi: 10.1016/j.molstruc.2009.08.037.
- Carmo M, Fritz DL, Mergel J, Stolten D. A comprehensive review on PEM water electrolysis. *Int J Hydrogen Energy* 2013;38:4901e34.
- Chang, Kai-tai., Weng, Cheng-i. 2008. An investigation into the structure of aqueous NaCl electrolyte solutions under magnetic fields. pp. 1048-1055.
- Chang, K. and Weng, C. (2008) 'An investigation into the structure of aqueous NaCl electrolyte solutions under magnetic fields', 43, pp. 1048–1055. doi: 10.1016/j.commatsci.2008.02.020.
- Chi, J. and Yu, H. (2018) 'Water electrolysis based on renewable energy for hydrogen production', *Chinese Journal of Catalysis*. Dalian Institute of Chemical Physics, the Chinese Academy of Sciences, 39(3), pp. 390–394. doi: 10.1016/S1872-2067(17)62949-8.
- College Of the Dessert. 2001. *Hydrogen Fuel Cell Engines and Related Technologies Rev 0*. Palm Desert: College of the Dessert.
- Coey, Magnetic water treatment – how might it work, *Philosophical Magazine*, Vol. 92, No. 31, 1 November 2012, 3857–3865

- Destini, R. (2017) 'Lama Waktu Proses Fermentasi Terhadap Nilai Tegangan Listrik Pasta Limbah Kulit Durian Analysis Of Effect Of Yeast Mass Addition And Fermentation Time To The Voltage Of Durian (Durio Zibethinus) Husk Waste Paste', 1(2), pp. 16–22.
- Kuncoro, Yanna Hendro. 2011. Kemana Pemanfaatan Sumber Daya Mineral dan Batubara Indonesia?. Warta Minerba. Edisi XI, Hal 5.
- Siswanti, henggar wahyu (2014) 'Review Jurnal " Produksi Gas Hidrogen Sebagai Bahan Bakar Alternatif dengan Sistem Elektrolisis dan Termokimia "''. Jurusan Kimia, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah Jakarta
- Supiah, Isana. 2010. Perilaku Sel Elektrolisis Air dengan Elektroda Stainless Steel. Jurdik Kimia UNY. Yogyakarta: UNY.
- Thomas L, Nelson A. Optimization of solar powered hydrogen production using photovoltaic electrolysis devices. Int J Hydrogen Energy 2008;33:5931e40.
- Winter CJ. Hydrogen energy d abundant, efficient, clean: a debate over the energy-system-of-change. Int J Hydrogen Energy 2009;34(14):S1e52.
- Zeng K, Zhang D. Recent progress in alkaline water electrolysis for hydrogen production and applications. Prog Energy Combust Sci (PECS) 2010;36:307e26.