

PRODUKSI GAS HIDROGEN MENGGUNAKAN METODE ELEKTROLISIS FOTOVOLTAIK (PV) DARI AIR LAUT MENGGUNAKAN ELEKTRODA GRAPHITE

Mai Fajar Fajri, Lukman Hakim*, Meriatna, dan Ishak Ibrahim

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Malikussaleh, Aceh, Indonesia
Email: lukman.hakim@unimal.ac.id

Abstrak

Proses elektrolisis merupakan peristiwa penguraian senyawa air dengan menggunakan arus listrik menjadi gas hidrogen dan oksigen. Gas hidrogen diketahui sebagai energi yang sangat efisien dan tidak menghasilkan gas emisi. Pada penelitian ini metode elektrolisis digunakan adalah menggunakan arus listrik searah (DC) dari panel surya. Arus listrik dari hasil panel surya akan dialirkan melalui dua elektroda *graphite* menuju reaktor elektrolisis yang telah diisi air laut sebanyak 3500 ml. Reaktor yang digunakan berbentuk persegi dengan kapasitas 4000 ml. Adapun variabel yang divariasikan pada proses elektrolisis ini dengan waktu 15, 30, 45 dan 60 menit pada tegangan 5,10,15 dan 20 volt. Dari hasil penelitian ini diperoleh bahwa semakin tinggi tegangan yang diberikan *flow rate* gas hidrogen dan kadar natrium hipoklorit (NaOCl) yang didapat semakin tinggi. *Flow rate* gas hidrogen yang tertinggi diperoleh pada tegangan 20 volt dengan waktu elektrolisis selama 60 menit yaitu sebesar 22,5 ml/s, sedangkan kadar NaOCl tertinggi diperoleh pada waktu 60 menit dengan tegangan 20 volt yaitu sebesar 0,81631%. Natrium hipoklorit (NaOCl) sebagai disinfektan mulai terbentuk pada tegangan 15 volt dengan ciri-ciri berwarna putih dan memiliki aroma sedikit menyengat. Hasil penelitian ini juga menunjukkan bahwa waktu elektrolisis tidak berpengaruh langsung pada proses pembentukan gas hidrogen, namun dengan lamanya waktu elektrolisis dan kenaikan tegangan pada penelitian ini akan meningkatkan suhu larutan elektrolit mencapai 45°C.

Kata kunci: Air laut, elektroda *graphite*, elektrolisis, fotovoltaik, dan hidrogen

Pendahuluan

Kebutuhan energi di Indonesia saat ini sebagian besar masih bergantung pada penggunaan bahan bakar fosil (batu bara, gas bumi, dan minyak bumi). Padahal persediaan energi fosil semakin lama semakin menipis, selain itu penggunaan energi fosil juga dapat menimbulkan ancaman serius seperti polusi gas rumah kaca akibat pembakaran bahan fosil yang menyisakan gas CO dan CO₂. Penggunaan minyak bumi sebagai bahan bakar minyak (BBM) masih banyak diaplikasikan oleh manusia dalam aktivitas transportasi dan energi di dunia industri. Besarnya ketergantungan manusia terhadap ketersediaan minyak bumi perlu di kurangi dikarenakan semakin lama ketersediaan minyak semakin menipis. Hal ini yang mendorong berbagai pakar energi untuk mengembangkan energi yang ramah lingkungan

Hidrogen merupakan bahan bakar yang banyak mendapatkan perhatian untuk dikembangkan, karena merupakan bahan bakar yang ramah lingkungan dan berpotensi menggantikan bahan bakar fosil. Sampai saat ini lebih dari 85% kebutuhan hidrogen dunia diproduksi dengan proses *steam reforming* gas alam yang beroperasi pada temperature tinggi (800°-1000°C) yang berakibat pada pemborosan bahan bakar fosil dan emisi CO₂. Substitusi sumber energi panas dengan reaktor nuklir dapat mengurangi laju pengurasan cadangan bahan bakar fosil sekaligus menurunkan emisi CO₂ [1]. Hidrogen bukanlah sumber energi (*energy source*)

melainkan pembawa energi (*energy carrier*). Artinya hidrogen tidak tersedia bebas di alam melainkan hidrogen harus diproduksi [2].

Elektrolisis air adalah peristiwa penguraian senyawa air (H_2O) menjadi gas hidrogen (H_2) dan oksigen (O_2) dengan menggunakan arus listrik DC melalui air sebagai larutan elektrolitnya. Gas H_2 sangat potensial digunakan sebagai sumber energi karena mempunyai kapasitas panas yang tinggi serta sifatnya yang ramah lingkungan [3]. Produksi gas hidrogen dari air laut yang mengandung natrium klorida ($NaCl$) merupakan cara yang dapat dilakukan untuk mendapatkan gas hidrogen yang lebih ekonomis dan efisien. Ini sebabkan air laut merupakan sumber yang berlimpah dan kandungan $NaCl$ -nya dapat membantu dengan cepat terjadi proses elektrolisis.

Proses elektrolisis memerlukan energi listrik DC yang cukup besar sehingga prosesnya dianggap tidak efisien. Untuk meningkatkan efisiensi proses produksi gas hidrogen penelitian ini menggunakan energi matahari melalui panel surya /fotovoltaik yang bisa didapat secara *free* di alam. Penggunaan bahan baku air laut sebagai sumber gas hidrogen dan penggunaan energi matahari sebagai sumber energinya akan meningkatkan efisiensi produksi hidrogen.

Tinjauan Pustaka

Gas hidrogen merupakan unsur kimia yang memiliki simbol H dan nomor atom satu. Pada suhu dan tekanan standar, hidrogen tidak berwarna, tidak berbau, bersifat non-logam, bervalensi tunggal dan merupakan gas diatomik yang sangat mudah terbakar pada udara bebas. Hidrogen adalah unsur paling banyak di bumi dengan persentase sekitar 75% dari total massa unsur di alam semesta. Menurut *American nuclear society* (juni 2012), kebutuhan dunia akan hidrogen sangat besar yaitu sekitar 5 juta ton per tahun. Kebutuhan hidrogen sebanyak ini diperlukan dalam proses kimia seperti mengikat nitrogen dengan unsur lain seperti dalam proses *haber bosch*, produksi metanol, bahan bakar alternatif dan pembentukan ammonia. Hidrogen dapat diproduksi dengan proses elektrolisis air.

Elektrolisis adalah metode pemecahan molekul-molekul air menjadi atom-atom penyusunnya (hidrogen dan oksigen) dengan menggunakan arus listrik yang melewati dua kutub elektroda. Pada proses elektrolisis sumber arus listrik dihubungkan dengan dua elektroda atau 2 plat yang umumnya terbuat dari platina dan karbon yang diletakkan didalam suatu larutan. Reaksi elektrolisis tergolong reaksi redoks tidak spontan, reaksi itu dapat berlangsung karna pengaruh energi listrik. Pada proses elektrolisis gas H_2 dan O_2 mulai timbul pada tegangan 1,7 volt. Metode elektrolisis merupakan proses kimia yang mengubah energi listrik menjadi energi kimia. Komponen terpenting dari sebuah reaktor elektrolisis adalah elektroda dan larutan elektrolit [4].

Elektrolisis air laut merupakan metode untuk produksi gas hidrogen dan natrium hipoklorit. Air laut yang mengandung garam sekitar 3-4 %, dimana kandungan $NaCl$ sekitar 2,5% ketika dialirkan arus listrik searah (DC) akan menyebabkan terbentuk gas hidrogen di katoda dan natrium hipoklorit di anoda. Air laut didalam *cell* akan terurai menjadi:

- a. Garam ($NaCl$) menjadi ion Na^{2+} dan ion Cl^-
 - b. Air (H_2O) menjadi ion $2 H^+$ dan ion O^{2-}
- $$\text{Reaksi : } NaCl + H_2O \longrightarrow NaOCl + H_2 \quad (1)$$

Karena ion $2H^+$ cenderung lebih stabil jika berdiri sendiri, maka ion $2H^+$ mengubah bentuk molekul gas hidrogen yaitu H_2 . Sedangkan ion O^{2-} cenderung lebih negatif terhadap ion Na^+ dan ion Cl^- . Akibat ketiga ion tersebut bersatu membentuk ikatan yang lebih stabil yaitu molekul $NaOCl$.

Metodelogi penelitian

Proses pembuatan gas hidrogen dan natrium hipoklorit dari air laut dilakukan megunakan reaktor elektrolisis yang berbentuk persegi dengan volume 4000 ml. prosedur pada pembuatan gas hidrogen dari air laut dengan metode elektrolisis dilakukan dengan tiga tahapan. Tahapan pertama yaitu persiapan alat dan bahan, tahapan kedua yaitu pembuatan gas hidrogen dan tahapan ketiga yaitu analisa gas hidrogen.

Tahap persiapan alat dan bahan dilakukan dengan cara persiapan elektroda dimana elektroda yang digunaka yaitu elektroda *graphite*. Kemudian elektroda dipasang pada reaktor elektrolisis kemudian dilanjutkan dengan pengambilan bahan baku yaitu air laut. Pada proses pembuatan gas hidrogen dilakukan dengan cara merangkai peralatan elektrolisis kemudian dimasukan cairan elektrolit yaitu air laut kedalam reaktor sebanyak 3500 ml. kemudian elektroda *graphite* dimasukan ke reaktor dan dialirkan arus listrik searah (DC) yang berasal dari fotovoltaiik dan diatur tegangan 5, 10,15, 20 volt dengan waktu 15, 30, 45, 60 menit sebagai *variable* bebas.

Analisa gas hidrogen dibagi dalam empat tahap yaitu menghitung *flow rate* gas hidrogen, analisa gas hidrogen metode pembakaran, analisa menggunakan detektor gas dan analisa uji gas menggunakan *gas chromatography* (GC). Untuk analisa *flow rate* gas, gas keluaran reaktor langsung dihubungkan ke alat flow meter kemudian alat flow meter akan langsung menampilkan nilai *flow rate* gas. Menganalisa gas hidrogen menggunakan detektor dilakukan dengan cara mengubungkan keluaran gas dengan detektor gas maka detektor akan mengeluarkan suara. Analisa gas dengan uji bakar dilakukan dengan cara menampung keluaran gas hidrogen dengan tabung reaksi kemudia nyalahkan korek api pada tabung reaksi yang ada gas hidrogen maka akan menimbulkan ledakan. Untuk analisa gas hidrogen menggunakan *gas chromatography* (GC) gas ditampung dengan gas bag kemudian langsung dianalisa menggunakan alat GC.

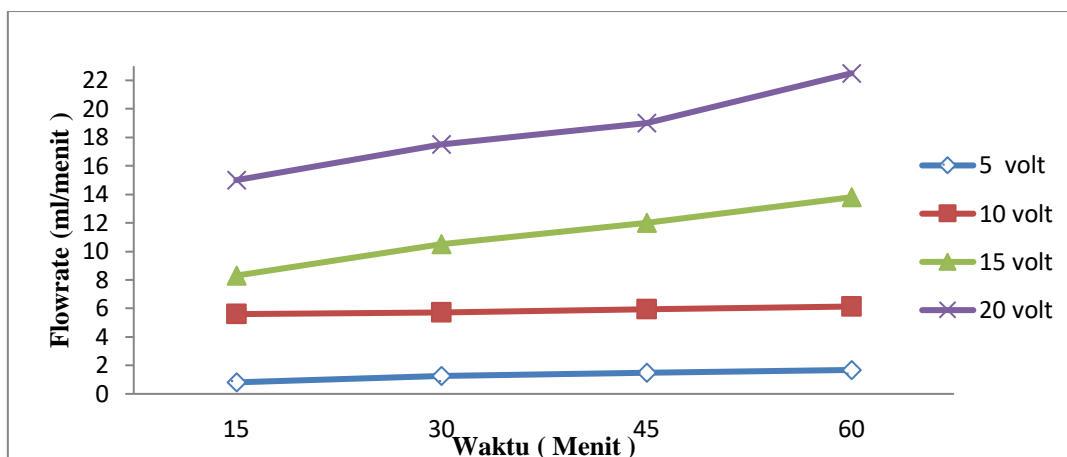
Analisa kadar natium hipoklorit dapat dilakukan dengan cara ambil larutan yang telah di elektrolisis kemudian larutan tersebut langsung di uji menggunakan alat spektrofotometri UV-VIS.

Hasil dan Pembahasan

Elektolisis merupakan metode pemecahan molekul-molekul air menjadi atom-atom penyusunnya (hidrogen dan oksigen) dengan menggunakan arus listrik yang melewati dua kutub elektroda. Pada penelitian ini cairan elektrolit yang digunakan adalah air laut dengan volume 3500 ml. proses elektrolisis memerlukan energi listrik searah (DC) yang berasal dari fotovoltaiik dengan tegangan diatur darin 5 volt sampai 20 volt. Pada proses elektrolisis gas hidrogen terbentuk di katoda dan natrium hipokrit dianoda.

Pengaruh Waktu Elektrolisis dan Tegangan Terhadap *Flow Rate* Gas Hidrogen.

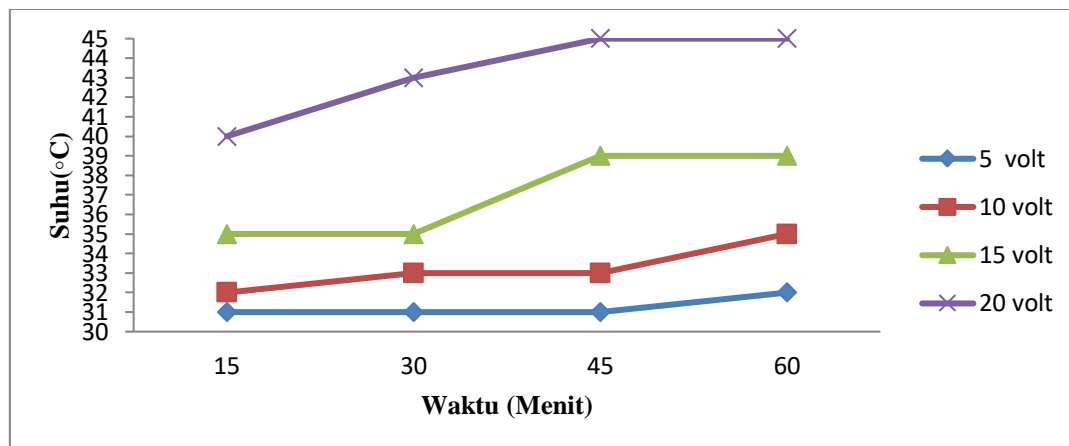
Penelitian pembuatan gas hidrogen dengan metode elektrolisis, pengaruh waktu dan tegangan terhadap *flow rate* gas hidrogen dapat kita lihat pada gambar 1.



Gambar 1. Hubungan Tegangan elektrolisis dan Waktu Terhadap *Flow Rate* Gas Hidrogen

Hasil dari pengamatan di atas dapat kita lihat bahwa tegangan elektrolisis sangat berpengaruh dalam menghasilkan *flow rate* gas hidrogen. Dimana dalam penelitian ini menunjukkan semakin tinggi tegangan maka semakin tinggi *flow rate* hidrogen yang dihasilkan. Hal ini disebabkan tegangan menunjukkan banyak energi yang dapat dihasilkan untuk suatu proses elektrolisis. Dari hasil penelitian *flow rate* terendah di dapat pada tegangan 5 volt dengan waktu elektrolisis 15 menit di peroleh *flow rate* gas hidrogen sebesar 0,81 ml/s, dan untuk *flow rate* tertinggi gas hidrogen di dapat pada tegangan 20 volt dengan waktu elektrolisis 60 menit di peroleh *flow rate* gas hidrogen sebesar 22 ml/s . Hal ini di karenakan tinggi rendahnya tegangan akan mempengaruhi jumlah *flow rate* yang didapat, semakin besar tegangan yang di berikan maka *flow rate* gas hidrogen dan natrium hipoklorit yang di hasilkan juga semakin besar, begitu pula sebaliknya semakin rendah tegangan maka semakin sedikit *flow rate* gas hidrogen dan endapan yang di dapat . Hal ini berbanding lurus dengan bunyi hukum Faraday I : Jumlah zat yang dihasilkan pada elektroda berbanding lurus dengan jumlah arus listrik yang melalui elektrolisis. Hasil dari pengamatan diatas pada penelitian produksi gas hidrogen dengan metode elektrolisis dapat kita lihat waktu elektrolisis tidak berpengaruh besar dalam menghasilkan *flow rate* gas hidrogen. Pada tegangan 5 dan 10 volt dalam waktu 15 sampai 60 menit didapat kenaikan *flow rate* gas hidrogen berkisar 1 sampai 2 ml/s , namun pada tegangan 15 dan 20 volt dengan waktu yang sama didapat kenaikan *flow rate* gas hidrogen berkisar 5 sampai 7 ml/s. hal ini sesuai Pernyataan yang dikemukakan oleh Michael Faraday dalam jurnal Ruslan (2017), bahwa semakin lama waktu elektrolisis hasil dari suatu reaksi kimia yang dikehendaki juga akan semakin bertambah. Selain itu terdapat pernyataan lain yang mendukung dengan penelitian serupa yakni oleh Soemargono, dkk. (2006) bahwa waktu yang lama memberikan kesempatan yang cukup untuk berlangsungnya proses elektrolisis, sehingga makin banyak produk yang dihasilkan. Dari hasil pengamatan semakin lama waktu elektrolisis akan menyebabkan semakin banyak jumlah gelembung-gelembung udara atau gas yang terbentuk pada bagian katoda, dimana gelembung-gelembung gas ini akan menyebabkan *flow rate* gas hidrogen yang dihasilkan semakin meningkat [5].

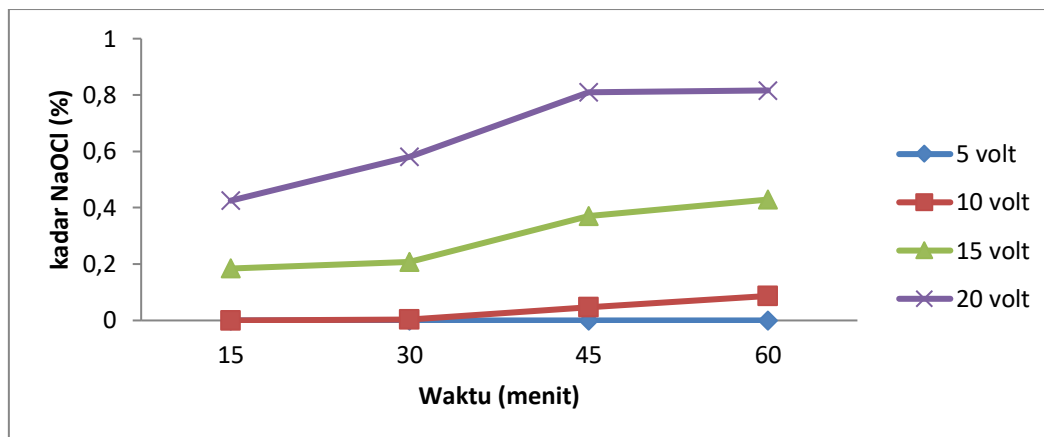
Pengaruh Waktu Elektrolisis dan Tegangan Terhadap Temperatur. Pengaruh waktu dan tegangan terhadap temperatur yang di hasilkan pada penelitian pembuatan gas hidrogen dengan metode elektrolisis, dapat kita lihat pada gambar 2.



Gambar 2 Hubungan Waktu dan Tegangan Terhadap Temperatur

Dari hasil pengamatan menunjukkan bahwa waktu elektrolisis tidak berpengaruh besar terhadap kenaikan suhu larutan elektrolit. Kenaikan suhu larutan diakibatkannya terjadinya akumulasi suhu selama proses elektrolisis berlangsung. Hasil penelitian juga menunjukkan pengaruh tegangan terhadap perubahan suhu terjadi dengan signifikan dimana semakin besar tegangan yang diberikan semakin tinggi suhu larutan yang terjadi. Hal ini dikarenakan terjadinya transfer energi ke larutan, di mana semakin besar tegangan maka energi yang di transfer semakin besar pula sehingga menyebabkan kenaikan suhu larutan [6], [7]. Pada tegangan 5 dan 10 volt tidak menunjukkan kenaikan suhu yang tinggi. Hal ini dikarenakan rendahnya energi yang diberikan, namun pada tegangan 15 dan 20 terjadi kenaikan temperatur secara signifikan mencapai suhu 45 °C pada tegangan 20 volt selama waktu 60 menit. Hal ini sesuai dengan teori di mana semakin besar energi yang diberikan pada sistem maka semakin tinggi kenaikan suhu yang terjadi. Peningkatan suhu elektrolisis menandakan bahwa sebagian energi terkonversi menjadi panas sehingga dapat menyebabkan efisiensi transfer energi ke proses menjadi menurun. Kenaikan suhu ini juga dapat mengakibatkan pembentukan endapan garam pada elektroda yang dapat mengganggu proses elektrolisis. Kenaikan suhu selama proses elektrolisis juga disebabkan oleh karena reaktor terpapar langsung dengan panas matahari sehingga perlu dihindari agar pembentukan endapan garam dapat dicegah.

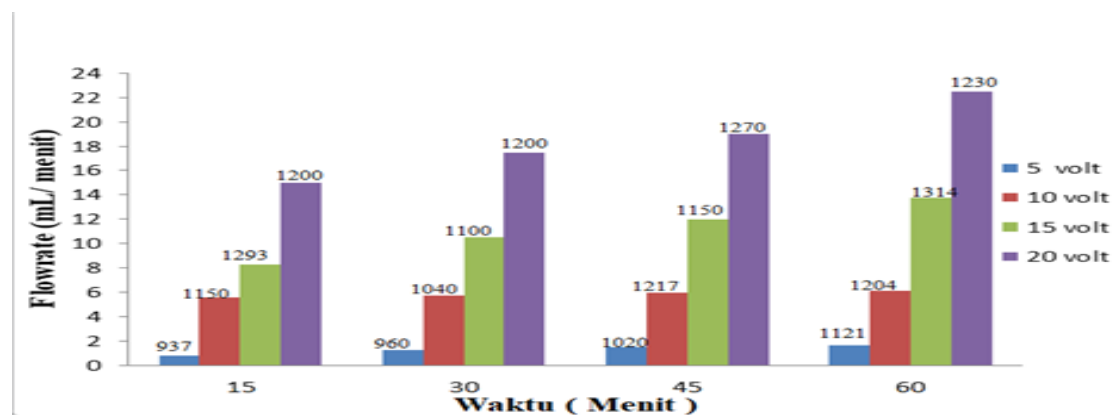
Pengaruh Waktu dan Tegangan Terhadap Kadar Natrium Hipoklorit. Pengaruh waktu dan tegangan terhadap natrium hipoklorit yang di hasilkan pada penelitian pembuatan gas hidrogen dengan metode elektrolisis, dapat kita lihat pada gambar 3.



Gambar 3. Hubungan Waktu dan Tegangan Terhadap NaOCl

Hasil pengamatan pengaruh waktu dan tegangan terhadap kadar NaOCl yang di hasilkan, dapat kita lihat hasil yang didapatkan bahwa waktu dan tegangan sangat berpengaruh untuk menghasilkan NaOCl. Dari grafik terlihat bahwa semakin tinggi tegangan dan waktu elektrolisis maka kadar NaOCl akan semakin meningkat, namun pada tegangan 5 volt, kadar NaOCl yang di dapatkan tergolong rendah hal ini di karnakan, reaksi pembentukan NaOCl merupakan reaksi yang sedikit anodik sehingga dengan tengangan rendah akan di dapatkan hasil yang lebih sedikit . Kadar NaOCl tertinggi diperoleh pada waktu 60 menit dengan tegangan 20 volt sebesar 0,81831 % .

Hubungan Intesitas Cahaya Matahari Terhadap Tegangan Pada Proses Elektrolisis. Hubungan intesitas cahaya matahari terhadap tegangan yang dihasilkan pada penelitian pembuatan gas hidrogen dengan metode elektrolisis, dapat kita lihat pada gambar 4.



Gambar 4. Hubungan Intesitas Matahasi terhadap Tegangan Elektrolisis

Intesitas cahaya matahari dilakukan untuk melihat hubungan intesitas cahaya matahari terhadap tegangan yang dihasilkan oleh panel surya monokristal yang dihubungkan dengan beban berupa reaktor elektrolisis. Dari hasil pengujian yang telah dilakukan dapat dilihat bahwa dengan intesitas matahari 937 W/M² dapat menghasilkan tegangan 5 volt dan pada intesitas matahari besar dari 1200 W/M² mampu mendapatkan tegangan 20 volt. Ini berarti semakin tinggi intesitas cahaya maka sema semakin besar juga tegangan yang dapat dihasilkan [8].

Pengujian Gas Hidrogen. Pengujian gas hydrogen dapat dilakukan dengan cara uji menggunakan detektor gas hidrogen, uji pembakaran, dan uji *gas chromatography* (GC)

Pengujian Gas Hidrogen dengan Metode Pembakaran. Pada pengujian bakar gas hidrogen dilakukan dengan cara gas hidrogen yang dihasilkan ditampung menggunakan tabung reaksi dengan posisi tabung reaksi dibalik menghadap kebawah. Hal ini bertujuan agar gas hidrogen yang telah ditampung tidak keluar dari tabung reaksi karena sifat gas yang sangat ringan dan mudah terbakar. Setelah gas ditampung kemudian nyalahkan api pada permukaan tabung dengan kemiringan 45°. Ketika gas hidrogen dan api terjadi kontak maka akan menghasilkan suara letupan yang menandakan terjadi reaksi eksoterm antara gas hidrogen dan gas udara dengan menghasilkan energi dari tanda letupan yang terjadi. Berikut dapat kita lihat pada gambar 5 pengujian gas hidrogen terhadap pembakaran:



Gambar 5. Pengujian Gas Hidrogen terhadap Pembakaran

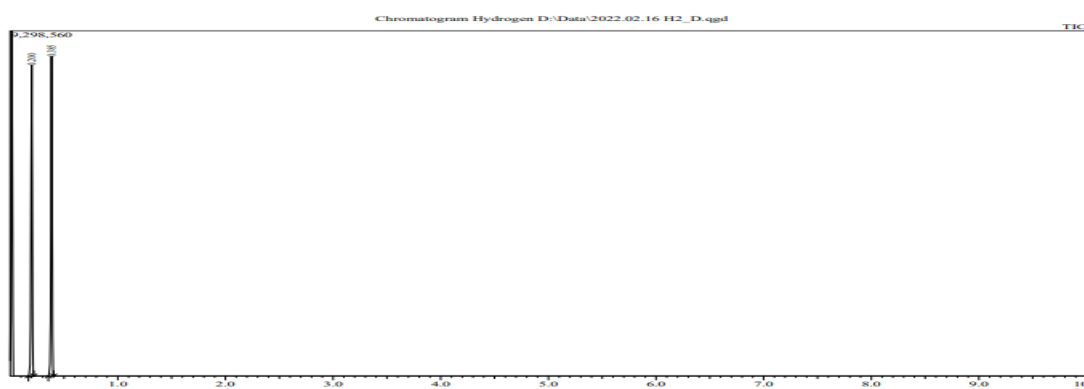
Pengujian Gas Hidrogen dengan Detektor Gas. Detektor gas merupakan peralatan yang digunakan untuk mengidentifikasi adanya gas pada suatu tempat. Pada penelitian ini menggunakan detektor gas BH-10A dimana alat ini mampu mendeteksi adanya gas hidrogen sampai sebesar 1000 ppm, ketika alat ini mendeteksi gas hidrogen maka alat ini akan mengeluarkan suara. Adapun pengujian gas hidrogen dengan menggunakan detektor gas dapat dilihat pada gambar 6.



Gambar 6. Detektor Gas Hidrogen

Detektor gas hidrogen merupakan alat yang sering digunakan pada industri pupuk dan nuklir dimana alat ini mampu mendeteksi adanya kebocoran gas hidrogen pada tangki gas hidrogen. Alat detektor gas hidrogen *portable* biasanya dipasang pada tangki penampung atau dapat dibawa dengan mudah. Selain itu alat ini mampu mendeteksi kebocoran gas hidrogen sampai 1000 ppm sehingga dapat mencegah terjadinya kebakaran ataupun ledakan dari gas hidrogen.

Uji Gas *Chromatography-Mass Spectrometry (GC-MS)*. Gas Chromatography - Mass Spectrometry (GC-MS) adalah suatu alat pengujian komponen berbentuk gas dengan metode gabungan dari alat GC dan MS. Sampel yang dianalisis akan dipisahkan dahulu dengan alat GC (Gas Chromatography), kemudian diidentifikasi dengan alat MS (Mass Spectrometry). GC dan MS merupakan kombinasi kekuatan yang simultan untuk memisahkan dan mengidentifikasi komponen-komponen campuran dalam suatu sampel. Hasil analisa menggunakan GC-MS dapat hasil pada gambar 7 di bawah ini.



Peak Report TIC						
Peak#	R.Time	Area	Area%	Height	Height%	A/H Name
1	0.200	6567973	49.33	8378767	49.31	0.78 Deuterium
2	0.385	6746577	50.67	8612116	50.69	0.78 Hydrogen
		13314550	100.00	16990883	100.00	

Gambar 7. Hasil *Chromatography-Mass Spectrometry (GC-MS)*

Dari hasil uji menggunakan GC-MS diperoleh bahwa gas hasil elektrolisis air laut pada bagian katoda menghasilkan gas hidrogen murni dengan dua jenis isotop yaitu protium (hidrogen) pada 0,385 dan deuterium pada menit 0,200. Protium (hidrogen) yang dihasilkan sebesar 50,69% dan deuterium sebesar 49,31%. Gas deuterium atau disebut juga dengan 2-hidrogen atau hidrogen berat (D) merupakan salah satu dari tiga bentuk isotop hidrogen yang terdiri dari protium, deuterium dan tritium. Deuterium merupakan isotop hidrogen yang sangat stabil dan bila direaksikan dengan oksigen akan menghasilkan air berat yang banyak digunakan dalam reaktor nuklir sebagai fluida gerak dan menstabilkan reaksi fusi yang terjadi dalam reaktor dengan cara mengurangi kecepatan pergerakan neutron tanpa penyerapan yang tinggi dari hidrogen biasa. Sedangkan untuk bidang farmakologi, penggantian hidrogen dengan deuterium digunakan karena efek isotop kinetik yang dihasilkan dan memungkinkan menghasilkan jenis obat-obatan yang memiliki waktu paruh lebih lama.

Kesimpulan

Berdasarkan hasil perhitungan dan pembahasan, maka dapat diambil beberapa kesimpulan, yaitu :

1. Waktu elektrolisis tidak berpengaruh besar terhadap kenaikan *flow rate* gas hidrogen.
2. Semakin tinggi tegangan maka semakin tinggi *flow rate* gas hidrogen dan temperature yang di hasilkan.
3. Semakin lama waktu elektrolisi dan tinggi tegangan semakin besar kadar NaOCl yang di hasilkan.
4. Flowrate gas hidrogen paling tinggi di dapatkan pada tegangan 20 volt dan waktu 60 menit dengan flowrate 22,5 ml/s
5. Kadar NaOCl tertinggi di dapat pada tegangan 20 volt dengan waktu 60 menit yaitu sebesar 0,81831 % .
6. Proses elektrolisis air laut dengan menggunakan panel surya menghasilkan isotop hidrogen protium dan deuterium.

Daftar Pustaka

- [1] D. H. Salimy, "Steam Reforming Gas Alam Dengan Reaktor Membran Menggunakan Reaktor Nuklir Temperatur Medium," *Jurnal Pengembangan Energi Nuklir*, 2010. <http://jurnal.batan.go.id/index.php/jpen/article/view/1454>
- [2] N. Muliawati, "Hidrogen Sebagai Sel Bahan Bakar: Sumber Energi Masa Depan," *Jur. Tek. Kim. Fak. Tek.*, 2008.
- [3] S. Bari and M. Mohammad Esmaeil, "Effect of H₂/O₂ addition in increasing the thermal efficiency of a diesel engine," *Fuel*, vol. 89, no. 2, pp. 378–383, 2010, doi: 10.1016/j.fuel.2009.08.030.
- [4] M. E. Martawati, "Sistem Elektrolisa Air Sebagai Bahan Bakar Alternatif Pada Kendaraan," pp. 93–104.
- [5] R. A. Hamid, Purwono, and W. Oktiawan, "Penggunaan Metode Elektrolisis Menggunakan Elektroda Karbon Dengan Variasi Tegangan Listrik Dan Waktu Elektrolisis Dalam Penurunan Konsentrasi TSS dan COD Pada Pengolahan Air Limbah Domestik," *J. Tek. Lingkungan*, vol. 6, no. 1, pp. 1–18, 2017.
- [6] L. Hakim, N. Sylvia, and R. Sari, "PRODUCTION OF HYDROGEN FROM SEA WATER AS RENEWABLE ENERGY USING THE ELECTROLYSIS METHOD," pp. 382–389, 2020.
- [7] M. . L. H. . M. . S. . M. M. A. . Fazlunazar, "Fazlunazar, M., Hakim, L., Sulhatun., Aminullah, M.M.," *J. Teknol. Kim. Unimal*, vol. 9, no. 1, pp. 58–66, 2020.
- [8] D. I. K. Padang, "Admin-Journal-Manager-2.-Mirzazoni-Vol-12-No.2-Hal-104-108," pp. 104–108, 2020.