

Produksi Gas Hidrogen Dengan Proses Elektrolisis Air Laut Ditinjau Dari Konsentrasi KOH

Muhammad Daffa Zulfany¹⁾, Erlinawati¹⁾, Agus Manggala¹⁾, Indah Pratiwi¹⁾.

¹⁾Teknik Energi, Fakultas Teknik Politeknik Negeri Sriwijaya

*Corresponding email: daffazulfany@gmail.com

Abstrak

Krisis energi bukan hanya menjadi isu di dunia, tetapi juga menjadi isu di Indonesia. Salah satu energi terbarukan dan ramah lingkungan yang berpotensi untuk dikembangkan ialah Hidrogen. Metode elektrolisis air adalah salah satu teknik pemisahan senyawa oksigen(O₂) dan hidrogen(H₂) yang terdapat pada air(H₂O) dengan bantuan arus listrik yang merupakan teknologi yang bebas emisi, namun untuk mempercepat reaksi dan produksi hidrogen di butuhkan bantuan katalis agar dapat menghemat waktu reaksi dan meningkatkan produksi gas hidrogen. Dalam penelitian ini, dilakukan produksi gas hidrogen dengan menggunakan bahan baku air laut dengan penambahan elektrolit KOH dan variasi tegangan. Dalam hal ini konsentrasi yang digunakan adalah 0,005M; 0,011M; 0,017M dan 0,023M serta variasi tegangan 10 V, 11 V, dan 12 V. Dari hasil penelitian, produksi gas hidrogen terendah pada konsentrasi 0,005 M dan tegangan 10 V yaitu sebesar 27,27 ml, sedangkan produksi gas tertinggi pada konsentrasi 0,023 M yaitu sebesar 122,29 ml. Dari hal tersebut, dapat disimpulkan bahwa semakin besar konsentrasi larutan elektrolit maka semakin besar gas hidrogen yang dihasilkan, efisiensi elektrolisis semakin meningkat dikarenakan jumlah energi yang digunakan sebanding dengan jumlah hidrogen yang dihasilkan. efisiensi terendah pada konsentrasi 0,005 M dan tegangan 10 V yaitu sebesar 23,44 % dan tertinggi pada konsentrasi 0,023 dan tegangan 12 V yaitu sebesar 46,72 %.

Kata Kunci: Air Laut, Elektrolisis, Hidrogen, KOH, Tegangan

PENDAHULUAN

Krisis energi bukan hanya menjadi isu di dunia, tetapi juga menjadi isu di Indonesia. Hingga saat ini Indonesia masih menggunakan energi fosil (minyak bumi, batu bara, dan gas bumi) sebagai sumber energi utama. Pemakaian energi fosil akan menyebabkan pemanasan global akibat sisa pembakarannya yang berupa gas CO dan CO₂. Pada tahun 2013, cadangan gas bumi nasional adalah 150,4 tscf (*trillions standard cubic feet*), dengan cadangan terbukti sebesar 101,5 tscf dan cadangan potensial sebesar 48,9 tscf. Produksi gas bumi Indonesia pada tahun 2013 adalah sebesar 8.130 mmscfd (*million metric standard cubic feet per day*). Hal ini berarti dengan asumsi tidak adanya penemuan cadangan gas baru, maka usia gas bumi Indonesia sekitar 34 tahun lagi (berdasarkan cadangan terbukti). Sehingga, dibutuhkan solusi berupa Energi Baru Terbarukan (EBT) yang potensial dan ramah lingkungan sebagai suplai energi di Indonesia (Shiva Kumar et al., 2022). Salah satu energi terbarukan dan ramah lingkungan yang berpotensi untuk dikembangkan ialah Hidrogen. Hidrogen memiliki banyak kelebihan daripadabahan bakar lainnya, karena memiliki nilai HHV yang tinggi yaitu sekitar 140 MJ/kg, dua kali lebih tinggi dari bahan bakar padat lainnya yaitu hanya sekitar 50 MJ/kg (Chi J et al., 2018). Pembakaran hidrogen tidak menyebabkan polusi karbon karena ketika terbakar, hidrogen akan menghasilkan energi panas dan emisi berupa air (Fitriyanti et al., 2019). Hidrogen dapat diperoleh melalui proses elektrolisis air, yaitu proses yang menggunakan sel elektroda (katoda dan anoda) yang dialiri aliran listrik searah (DC), sehingga terjadi penguraian H₂O menjadi Hidrogen (H₂) dan Oksigen (O₂) (Wahyono et al., 2017). Arus listrik yang dialirkan pada sel elektroda akan

menimbulkan beda potensial dan mengionisasi molekul air menjadi ion positif dan negatif[4]. Elektrolisis Air dalam memproduksi hidrogen dapat mengonsumsi listrik sebesar 12 Volt pada keadaan optimum (Wahyono et al., 2017). Elektrolisis adalah metode sederhana produksi hidrogen. Arus listrik lemah dialirkan melalui listrik, dan gas oksigen terbentuk di anoda sementara gas hidrogen terbentuk di katoda. Metode elektrolisis air adalah salah satu teknik pemisahan senyawa oksigen (O_2) dan hidrogen (H_2) yang terdapat pada air (H_2O) dengan bantuan arus listrik yang merupakan teknologi yang bebas emisi, namun untuk mempercepat reaksi dan produksi hidrogen dibutuhkan bantuan katalis agar dapat menghemat waktu reaksi dan meningkatkan produksi gas hidrogen. Air laut merupakan salah satu larutan elektrolit kuat karena di dalamnya mengandung NaCl atau disebut dengan kadar garam (salinitas). Kandungan klorin dalam air laut dapat menimbulkan korosi pada elektroda pada proses elektrolisis, sehingga elektroda akan mengalami penurunan efektivitasnya, sehingga produksi hidrogen yang dihasilkan dari proses elektrolisis juga akan berkurang (Rustana et al., 2021). Berdasarkan percobaan yang dilakukan (Bow, dkk (2020), Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah air yang memiliki salinitas 0,05 - 8 ppt. Hasil yang didapatkan ialah laju alir pembentukan gas hidrogen yang diperoleh dari elektrolisis dengan bahan baku air dengan salinitas 0,05 ppt 14,8 ppm, air dengan salinitas 3 ppt 85,2 ppm, air dengan salinitas 8 ppt 100 ppm. Semakin tinggi nilai salinitas maka semakin banyak gas yang dihasilkan (Bow et al., 2020).

Penelitian lain yang dilakukan Frendi (2016), menunjukkan bahwa volume gas hidrogen yang dihasilkan elektrolit KOH lebih banyak daripada elektrolit NaOH dengan konsentrasi yang sama yaitu 1,25 M dengan kuat arus bervariasi 2,5 – 11,5 A dan didapatkan volume hidrogen pada arus 11,5 A sebesar 100,65 ml untuk larutan elektrolit NaOH dan 135,3 ml untuk larutan elektrolit KOH. Selain itu, penelitian yang dilakukan Prasetyo, dkk (2019), katalis KOH merupakan katalis yang memiliki efisiensi 8,76%, lebih besar dari NaOH yang memiliki efisiensi 8,18%. Hal ini disebabkan pemakaian daya dari KOH sebesar 138 watt yang lebih kecil dari NaOH yaitu sebesar 174,8 watt. Pada penelitian lainnya yang dilakukan oleh Muthaharussayidun, dkk (2019), proses elektrolisis dilakukan dengan variasi kadar KOH yaitu 0 – 75 gram dan hasil menunjukkan laju produksi gas hidrogen terbaik yaitu pada penambahan katalis KOH sebanyak 75 gram yaitu sebesar 149,43 ml/s. Berdasarkan dari penelitian yang telah dilakukan sebelumnya maka dilakukan kajian pengaruh konsentrasi KOH terhadap produksi gas hidrogen pada elektrolisis air agar didapatkan produksi gas hidrogen yang efisien dan optimal.

Hidrogen

Hidrogen adalah salah satu unsur kimia dengan simbol H dan nomor atom 1 pada tabel periodik unsur yang melimpah di alam, kata hidrogen sendiri berasal dari bahasa Yunani yaitu *hidrogenium*, dengan *hydro* yang berarti air, dan *genes* yang berarti membentuk. Hidrogen adalah unsur yang terdapat di alam yang kelimpahannya terbesar, tetapi hanya sedikit tertinggal di bumi. Dari analisis spektrum sinar yang dipancarkan oleh bintang, disimpulkan bahwa bintang terutama terdiri dari hidrogen.

Elektrolisis Air Laut

Proses elektrolisis air laut memiliki reaksi yang berbeda dari elektrolisis air karena pada air laut mengandung senyawa NaCl. Pada katoda akan terjadi reaksi reduksi dan kation yang ada adalah persaingan antara air dengan ion Na^+ . Reaksi yang terjadi pada elektrolisis larutan natrium klorida dengan elektroda Stainless Steel :

Reaksi yang terjadi pada katoda :

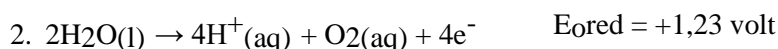
1. $Na^+(aq) + 1e^- \rightarrow Na(s)$ $E_{ored} = -2,71$ volt
2. $2H_2O(l) + 2e^- \rightarrow H_2(g) + 2OH^-(aq)$ $E_{ored} = -0,83$ volt

(

Semakin positif E_{ored} , maka semakin besar kecenderungan zat untuk tereduksi, air yang akan tereduksi.

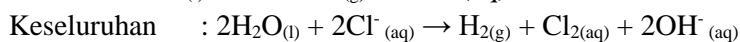
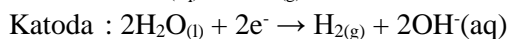
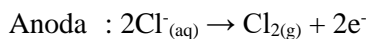
Reaksi pada anoda :

Anion yang ada adalah Cl^- dan air.



Zat yang mudah teroksidasi adalah zat yang memiliki E_{ooks} lebih positif, berdasarkan informasi yang dapat direduksi adalah air, tetapi fakta percobaan menunjukkan bahwa gas Cl_2 terbentuk di anoda. Karena tegangan yang diperlukan untuk reaksi jauh lebih besar daripada tegangan yang ditunjukkan oleh potensial elektroda (tegangan berlebih), perbedaan antara potensial elektroda dan tegangan aktual yang diperlukan untuk elektrolisis.

Jadi, reaksi yang terjadi pada elektrolisis larutan natrium klorida dengan elektroda Stainless Steel adalah :



Elektrolisis air laut menghadapi tantangan seperti oksidasi klorin yang tidak diinginkan yang dapat menyebabkan korosi pada elektroda. Di sisi anoda, sejumlah besar hipoklorit dapat dihasilkan, karena ion klorida dapat mengalami reaksi reduksi yang bersaing dengan oksigen.

Elektrolit

Elektrolit adalah suatu zat yang larut atau terurai ke dalam bentuk ion-ion dan selanjutnya larutan menjadi konduktor elektrik, ion-ion merupakan atom-atom bermuatan elektrik. Elektrolit bisa berupa air, asam, basa atau berupa senyawa kimia lainnya. Elektrolit umumnya berbentuk asam, basa atau garam. Beberapa gas tertentu dapat berfungsi sebagai elektrolit pada kondisi tertentu misalnya pada suhu tinggi atau tekanan rendah. Elektrolit kuat identik dengan asam, basa, dan garam kuat. Elektrolit merupakan senyawa yang berikatan ion dan kovalen polar. Sebagian besar senyawa yang berikatan ion merupakan elektrolit sebagai contoh ikatan ion NaCl yang merupakan salah satu jenis garam yakni garam dapur. NaCl dapat menjadi elektrolit dalam bentuk larutan dan lelehan. atau bentuk liquid dan aqueous. sedangkan dalam bentuk solid atau padatan senyawa ion tidak dapat berfungsi elektrolit.

Elektroda

Elektroda adalah konduktor yang digunakan untuk bersentuhan dengan bagian atau media non logam dari sebuah sirkuit. Elektroda berfungsi sebagai pengantar arus listrik dari sumber tegangan ke air yang akan dielektrolisis. Pada Elektrolisis yang menggunakan arus DC, kutub positif sebagai anoda dan negatif sebagai katoda.

METODOLOGI PENELITIAN

Larutan elektrolit yang digunakan pada proses elektrolisis ini sebanyak 6 liter. Jenis larutan elektrolit ada dua yaitu air laut dan KOH . Air laut yang digunakan memiliki salinitas 2,5 ppt serta variasi KOH yang digunakan sebesar 0,005 M, 0,011M, 0,017M, 0,023M. Pada proses ini variasi tegangan yang digunakan sebesar 10 Volt, 11 Volt, 12 Volt dengan waktu elektrolisis 120 detik. Jumlah sel elektroda yang digunakan adalah 5 sel dengan bahan *stainless steel* untuk masing-masing reaktor.

Alat dan Bahan

Alat yang digunakan dalam penelitian ini ialah seperangkat alat elektrolisis, Refraktometer Salinitas, gelas ukur, kaca arloji, spatula, neraca analitik, dan Urine Bag. Penelitian dilakukan di Laboratorium Program Studi Teknik Energi Jurusan Teknik Kimia Politeknik Negeri Sriwijaya Palembang.

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini ialah air laut, aquadest, dan Kalium Hidroksida (KOH)



Gambar 1. Alat Elektrolisis

Preparasi Bahan Baku

Menyiapkan air laut dan aquadest untuk melakukan pengemceran, dan merupakan bahan baku utama. Serta menyiapkan Kalium Hidroksida untuk penambahan pada masing-masing sampel.

Pengukuran Kadar Salinitas

Sebelum proses elektrolisis dilakukan, terlebih dahulu air laut murni diukur nilai salinitasnya menggunakan *Salinity Refractometer*, kemudian dilanjutkan dengan proses pengenceran air laut dan nilai salinitasnya diukur kembali.

Proses Elektrolisis

Elektrolisis dilakukan dengan waktu 120 detik sebanyak 4x dimana 3x proses awal dilakukan pelepasan gas ke lingkungan agar O₂ yang terkandung dalam tabung penampungan dapat diminimalisir sehingga gas hasil elektrolisis mengandung banyak gas H₂. Selanjutnya, dilakukan pengamatan pada tekanan gas, temperature, arus, daya yang dihasilkan selama proses elektrolisis dan mencatatnya hasil pengukuran. Setelah itu, melakukan uji bakar dari gas hidrogen dengan cara mengeluarkan gas dalam air sabun lalu diberikan sumber api.

Analisis Gas

Setelah proses elektrolisis, dilakukan proses analisa gas menggunakan alat *Multi Gas Detector Analyzer* di Laboratorium Teknik Kimia Politeknik Negeri Sriwijaya guna mengetahui kandungan - kandungan yang terdapat dalam gas hasil elektrolisis.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam penelitian mengenai pengaruh konsentrasi elektrolit pada bahan baku dalam menghasilkan gas hidrogen pada proses elektrolisis air telah dilakukan dengan variasi konsentrasi elektrolit kalium hidroksida (KOH) mulai dari 0,005 M, 0,011 M, 0,017 M, dan 0,23 M. Proses elektrolisis ini dilakukan pada variasi tegangan 10 V, 11 V dan 12 V sehingga pada proses penelitian ini di dapat data berupa

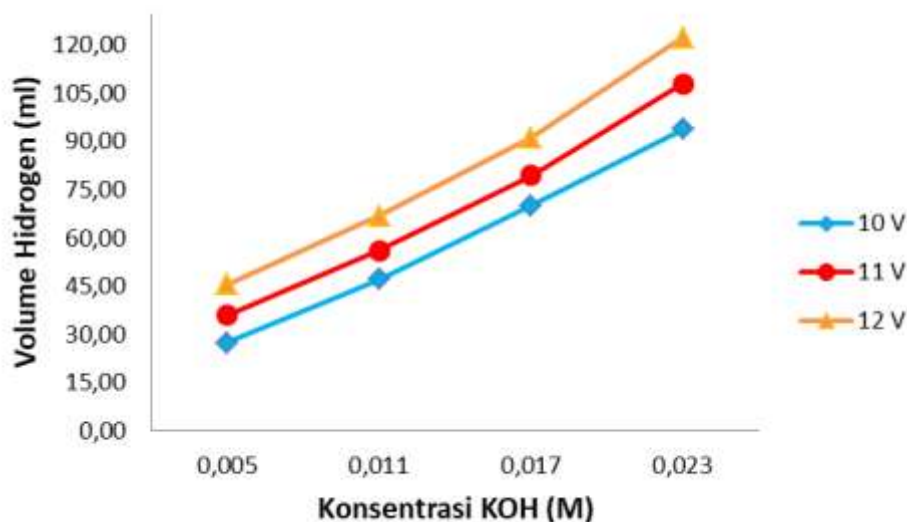
data waktu, tegangan, arus, jumlah gas yang dihasilkan dan efisiensi. Adapun data-data pengamatan dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Hasil Volume Gas Hidrogen dan Efisiensi Elektrolit KOH

Konsentrasi (M)	Waktu (s)	Tegangan (Volt)	Arus (Ampere)	Mol H ₂	Mol O ₂	Volume H ₂ (ml)	Volume O ₂ (ml)	Efisiensi (%)
0,005	120	10	1,24	0,00122	0,00119	27,27	26,59	23,44
	120	11	1,33	0,00160	0,00155	35,91	34,81	26,05
	120	12	1,47	0,00203	0,00197	45,41	44,04	27,41
0,011	120	10	1,56	0,00210	0,00208	47,02	46,52	32,07
	120	11	1,61	0,00250	0,00244	56,03	54,71	33,63
	120	12	1,72	0,00298	0,00288	66,86	64,56	34,39
0,017	120	10	1,89	0,00313	0,00302	70,09	67,72	39,45
	120	11	1,94	0,00355	0,00341	79,40	76,28	39,63
	120	12	2,03	0,00407	0,00392	91,21	87,70	39,80
0,023	120	10	2,12	0,00419	0,00410	93,86	91,85	47,08
	120	11	2,21	0,00482	0,00472	107,95	105,67	47,23
	120	12	2,32	0,00546	0,00543	122,29	119,72	46,72

Pengaruh Konsentrasi Elektrolit KOH Terhadap Volume Gas Hidrogen yang Dihasilkan

Elektrolit adalah suatu zat yang ditambahkan pada reaksi kimia untuk mempercepat reaksi. Pada proses elektrolisis, elektrolit dapat digunakan untuk mempercepat reaksi penguraian air menjadi gas H₂ dan O₂ pada penelitian ini digunakan elektrolit berupa kalium hidroksida(KOH). Berdasarkan data yang didapat dari proses elektrolisis dan hasil perhitungan, dapat dibuat grafik pengaruh konsentrasi elektrolit KOH terhadap volume gas hidrogen yang dihasilkan dapat dilihat pada Gambar 2.

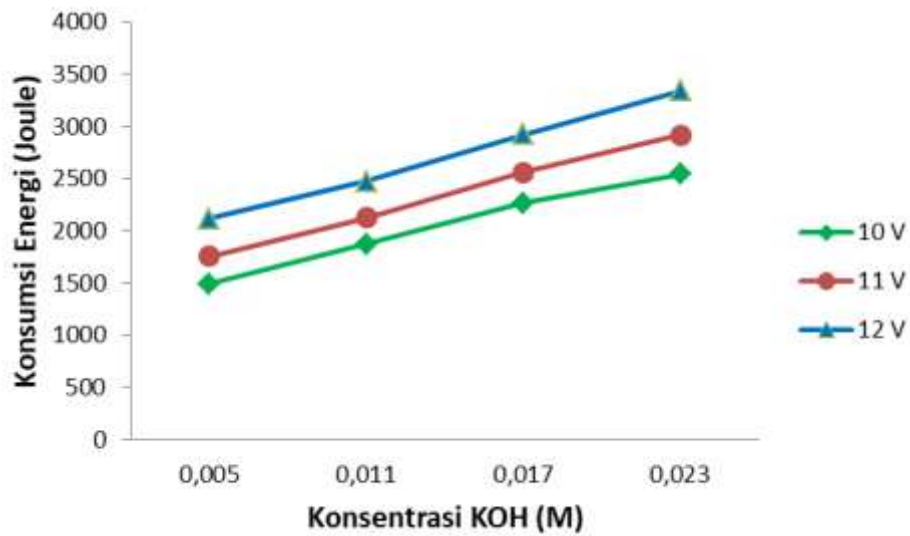


Gambar 2. Grafik Pengaruh Konsentrasi Elektrolit KOH dan Tegangan Terhadap Volume Gas Hidrogen

Dari grafik diatas dapat dilihat pengaruh konsentrasi elektrolit KOH terhadap volume gas hidrogen pada proses elektrolisis yang dilakukan selama 120 detik. Pada proses elektrolisis gas hidrogen akan terbentuk pada katoda, dimana pada katoda yang bermuatan negatif akan mengalami reaksi reduksi dan menarik kation yang akan membentuk menjadi gas hydrogen. Sedangkan pada anoda akan mengalami proses oksidasi dengan muatan positif akan menarik anion yang akan teroksidasi menjadi gas oksigen. Dapat dilihat pada grafik elektrolit dengan konsentrasi tinggi menghasilkan gas hidrogen yang lebih tinggi karena selain peran elektrolit untuk mempercepat reaksi terbentuknya gas H_2 dan O_2 faktor konsentrasi elektrolit yang diberikan dalam sebuah larutan akan membuat hambatan listrik semakin kecil, sehingga reaksi kimia yang terjadi akan semakin cepat dan gas yang dihasilkan semakin banyak, elektrolit dengan konsentrasi 0,005 M dengan tegangan 10 V didapat hasil terendah 27,27 ml sedangkan tegangan 12 V didapat hasil 45,41 ml untuk konsentrasi 0,023 M dengan tegangan 10 V didapat hasil terendah 93,86 ml dan tegangan 12 V didapat hasil 122,29 ml. Hal ini sesuai dengan sifat larutan elektrolit yang dapat menghantarkan listrik dengan baik.

Pengaruh Konsentrasi Terhadap Konsumsi Energi yang Digunakan Pada Proses Elektrolisis

Pada proses elektrolisis konsentrasi elektrolit berpengaruh terhadap konsumsi energi yang dihasilkan selama reaksi pembentukan gas hidrogen. Dari hasil perhitungan konsumsi energi yang dihasilkan selama proses elektrolisis dapat dibuat grafik dan dapat dilihat pada Gambar 3.

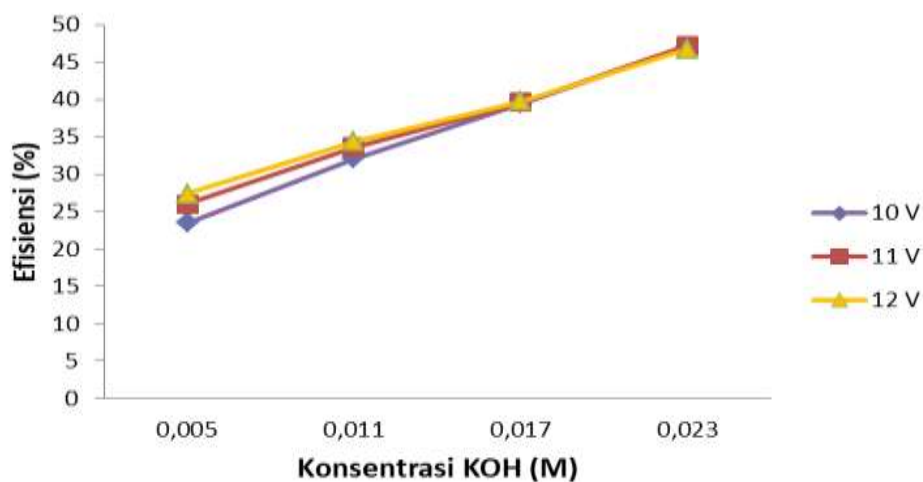


Gambar 3. Pengaruh Konsentrasi KOH dan Tegangan Terhadap Konsumsi Energi yang Digunakan Pada Elektrolisis

Dari grafik diatas dapat dilihat bahwa air laut dengan penambahan KOH dengan variasi konsentrasi yang berbeda menghasilkan jumlah energi yang meningkat pada setiap besarnya tegangan. Begitu juga dengan jumlah energi yang digunakan pada proses elektrolisis. Konsumsi energi terendah pada konsentrasi 0,005 M dengan tegangan 10 V yaitu 1488 Joule dan tertinggi yaitu 2116,8 Joule, untuk konsentrasi 0,023 M dengan tegangan 10 V yaitu 2554 Joule dan tertinggi 3340,8 Joule. Hal ini menunjukkan bahwa semakin besar tegangan dan semakin tinggi konsentrasi maka energi yang dikonsumsi selama proses elektrolisis akan semakin besar. Semakin banyak suplai arus yang diberikan maka jumlah mol gas yang dihasilkan akan semakin besar[Erlinawati et al.,2014]

Pengaruh Konsentrasi dan Tegangan Terhadap Efisiensi Produksi Gas Hidrogen

Pada konsentrasi memiliki pengaruh terhadap efisiensi alat yang digunakan. Semakin tinggi konsentrasi larutan yang digunakan maka akan semakin tinggi arus yang digunakan serta semakin besar pula energi yang dibutuhkan untuk proses pembentukan gas hidrogen dan oksigen sehingga efisiensi alat akan semakin rendah. Pada proses elektrolisis dengan variasi konsentrasi elektrolit KOH didapatkan efisiensi yang dapat dilihat pada Tabel 4.1 dan pada Gambar 4.



Gambar 4. Grafik Pengaruh Konsentrasi dan Tegangan Terhadap Efisiensi Energi Alat Elektrolisis dengan Elektrolit KOH

Dari grafik diatas menunjukkan pengaruh konsentrasi dan energi terhadap efisiensi elektrolisis pada produksi gas hidrogen selama 120 detik dengan penggunaan elektrolit KOH relatif meningkat, apabila dilihat dari tegangan yang sama dengan konsentrasi elektrolit yang berbeda. Hal ini terjadi karena produksi hidrogen yang semakin meningkat mempengaruhi penggunaan energi yang semakin besar yang ditunjukkan oleh arus yang terus menerus meningkat. Pada konsentrasi 0,005M dengan tegangan 10V merupakan efisiensi terendah yaitu sebesar 23,44% dan memiliki efisiensi tertinggi pada konsentrasi yang sama dengan tegangan 12V yaitu sebesar 27,41%. Dengan semakin tinggi kuat arus dan konsentrasi elektrolit yang sejalan jumlah produksi gas maka efisiensi akan semakin rendah, hal ini diperkuat dengan pernyataan Syawalian (2019) tegangan dan kuat arus listrik yang diberikan, maka semakin tinggi efisiensi arus pada proses elektrolisis.

KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian tentang produksi gas hidrogen dengan proses elektrolisis air laut ditinjau dari konsentrasi KOH yang telah dilakukan maka dapat disimpulkan bahwa: Semakin besar konsentrasi elektrolit yang dilarutkan dalam sebuah larutan maka produksi gas yang dihasilkan semakin meningkat. Hal ini disebabkan karena selain peran elektrolit untuk mempercepat reaksi terbentuknya gas H₂ dan O₂ faktor konsentrasi elektrolit yang diberikan dalam sebuah larutan akan membuat hambatan listrik semakin kecil, sehingga reaksi kimia yang terjadi akan semakin cepat dan gas yang dihasilkan semakin banyak, elektrolit dengan konsentrasi 0,005 M dengan tegangan 10 V didapat hasil terendah 27,27 ml sedangkan tegangan 12 V didapat hasil 45,41 ml untuk konsentrasi 0,023 M dengan tegangan 10 V didapat hasil terendah 93,86 ml dan tegangan 12 V didapat hasil 122,29 ml. Penambahan KOH dengan variasi konsentrasi yang berbeda menghasilkan jumlah energi yang meningkat pada setiap besarnya tegangan. Begitu juga dengan jumlah energi yang digunakan pada proses elektrolisis. Konsumsi energi terendah pada konsentrasi 0,005 M dengan tegangan 10 V yaitu 1488 Joule dan tertinggi yaitu 2116,8 Joule, untuk konsentrasi 0,023 M dengan tegangan 10 V yaitu 2554 Joule dan tertinggi 3340,8 Joule. Hal ini menunjukkan bahwa semakin besar tegangan dan semakin tinggi konsentrasi maka energi yang dikonsumsi selama proses elektrolisis akan semakin besar. Efisiensi kinerja alat berdasarkan variasi konsentrasi elektrolit KOH dan variasi tegangan terendah pada konsentrasi 0,005 M dan tegangan 10 V dengan persentase 23,44% untuk efisiensi tertinggi pada konsentrasi 0,023 M dan tegangan 12 V dengan persentase 46,72%.

DAFTAR PUSTAKA

- A, S. S. K., & A, H. L. (2022). *Laporan Energi Tinjauan teknologi elektrolisis air untuk produksi hidrogen hijau*. 8, 13793–13813. <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2022.10.127>
- Bow, Y., Permata Sari, A., Dwi Harliyani, A., Saputra, B., Budiman, R., Kimia, T., & Negeri Sriwijaya Jalan Sriwijaya Negara Bukit Besar, P. (2020). Produksi Gas Hidrogen Ditinjau Dari Pengaruh Duplex Stainless Steel Terhadap Variasi Konsentrasi Katalis Dan Jenis Air Yang Dilengkapi Arrestor *Jurnal Kinetika*, 11(03), 46–52. <https://jurnal.polsri.ac.id/index.php/kimia/index46>
- Chi, J., & Yu, H. (2018). Water electrolysis based on renewable energy for hydrogen production. In *Cuihua Xuebao/Chinese Journal of Catalysis* (Vol. 39, Issue 3, pp. 390–394). Science Press. [https://doi.org/10.1016/S1872-2067\(17\)62949-8](https://doi.org/10.1016/S1872-2067(17)62949-8)
- Erlinawati, Zikri, A dan Mudzakkir, A. (2014). Pengaruh Suplai Arus Listrik dan Jumlah Sel Elektroda Terhadap Produksi Gas Hidrogen dengan Elektrolit Asam Sulfat. *Kinetika*, 5(1); 14–19.

- Fazlunnazar, M., Hakim, L., Meriatna, M., & Sulhatun, S. (2020). PRODUKSI GAS HIDROGEN DARI AIR LAUT DENGAN METODE ELEKTROLISIS MENGGUNAKAN ELEKTRODA TEMBAGA DAN ALUMINIUM (Cu DAN Al). *Jurnal Teknologi Kimia Unimal*, 9(1), 58. <https://doi.org/10.29103/jtku.v9i1.3037>
- Fitriyanti. (2019). Analisis Produktivitas Gas Hidrogen Berdasarkan Arus Dan Tegangan Pada Proses Elektrolisis H₂O (Vol. 6, Issue 2). Jurusan Fisika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Alauddin Makassar
- Hikam M AS, 2014, Ketahanan Energi Indonesia 2015-2025 Tantangan dan Harapan, CV. Rumah Buku, Jakarta.
- Hizkia, Achmad. 2001. Buku Elektrokimia dan Kinematika Kimia. Citra AdityaBakti: Jakarta.
- Hougen, Olaf, A.M., Watson, Kenneth. 1959. Chemical Process Principles, Second Edition. Japan.
- House, J. E. and House, K. A. (2016) 'Hydrogen', Descriptive Inorganic Chemistry, 3, pp. 111–121. doi: 10.1016/B978-0-12-804697-5.00007-5.
- Iswandari, D., Mahenri, I., Bow, Y., Syakdani, A., & Junaidi, R. (2022). Effect of Concentration of NaOH and H₂SO₄ Catalysts on Hydrogen Gas Production Efficiency. *International Journal of Research in Vocational Studies (IJRVOCAS)*, 1(4), 22–25. <https://doi.org/10.53893/ijrvocas.v1i4.73>
- Muthaharussayidun., Anis, S., Aryadi, W. (2019). Uji Produksi Gas Hidrogen Melalui Elektrolisis Plasma Air Laut Dengan Katalis KOH Dan Zat Aditif Etanol. *Jurnal Inovasi Mesin* Vol. 1, No. 1 (10-16). Teknik Mesin, Universitas Negeri Semarang.
- Prasetyo., Diningrum, J. P., Rahmanto, R. H. (2019). Analisis Penggunaan Variasi Katalis NaOH, NaCl, dan KOH Terhadap Laju Aliran Gas H₂O. *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, Vol.7, No. 2 Agustus 2019 Universitas Islam 45 Bekasi, <http://ejournal.unismabekasi.ac.id>.
- Rustana, C. E., Sunaryo, Muchtar, S. J., Sugihartono, I., Sasmitaningsihhiadayah, W., Madjid, A. D. R., & Hananto, F. S. (2021). *The Effect Of Voltage And Electrode Types On Hydrogen Production From The Seawater Electrolysis Process*. *Journal of Physics: Conference Series*, 2019(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2019/1/012096>
- Siregar, M. A., Umurani, K., & Damanik, W. S. (2020). Pengaruh Jenis Katoda Terhadap Gas Hidrogen Yang Dihasilkan Dari Proses Elektrolisis Air Garam. *Media Mesin: Majalah Teknik Mesin*, 21(2), 57–65. <https://doi.org/10.23917/mesin.v21i2.10386>
- Wahyono, Y., Sutanto, H., Hidayanto, E., Fisika, D., Sains, F., & Diponegoro, U. (2017). *Produksi gas hydrogen menggunakan metode elektrolisis dari elektrolit air dan air laut dengan penambahan katalis NaOH*. 6(4), 353–359.