

Peningkatan Produksi Hidrogen Pada Elektrolisis Air Dengan Pengaruh Medan Magnet Dinamis

Purnami*, Eko Siswanto*, Roberto Elias Sommal Ambarita*
*Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya
Jalan Mayjen Haryono 167 Malang 65145 -Telp (0341) 587711
Email: purnami.ftub@ub.ac.id

ABSTRACT

Hydrogen is an alternative fuel to replace fossil fuels. Hydrogen is available in abundance in nature. The hydrogen combustion process produces no pollution, so it is considered an environmentally friendly fuel. There are many methods to produce Hydrogen. Electrolysis of water is the easiest method to produce Hydrogen because it requires simple equipment and produces high-purity Hydrogen. The only problem with water electrolysis is its low efficiency. Various efforts have been made to increase the efficiency of water electrolysis, among others by utilizing the influence of magnetic fields. This study aims to increase the efficiency of water electrolysis using a dynamic magnetic field with a direction perpendicular to the cathode. The dynamics of the magnetic field is carried out by rotating the magnet at a rotation variation of 0 – 2000 rpm. Electrolysis of water takes ten minutes. During the water electrolysis process; Hydrogen production, electric current density, and acidity of the electrolyte solution are measured and reported every minute. The results showed that the greater the rotation of the magnet, the density of the electric current increased, the acidity of the electrolyte solution decreased, and the production of hydrogen increased so that the efficiency of the air electrolysis process increased too.

Keywords: Hydrogen production, water electrolysis, magnetic field

PENDAHULUAN

Perkembangan umat manusia yang semakin pesat, ditambah dengan pemenuhan kebutuhan sektor transportasi telah memberikan dampak serius terhadap cadangan bahan bakar fosil yang jumlahnya semakin menipis. Di Indonesia, dalam lima tahun terakhir konsumsi bahan bakar fosil telah mengalami kenaikan pesat. Pada tahun 2015, tercatat konsumsi BBM di Indonesia mencapai 67.548.378 kiloliter dan terus mengalami kenaikan sampai 74.045.667 kiloliter pada tahun 2018 [1][2].

Selain mengalami penyusutan, disisi lain pemakaian bahan bakar minyak ini dapat

menyebabkan polusi udara sebagai akibat proses pembakaran. Dengan permasalahan kompleks ini diperlukan pemecahan berupa penghematan energi. Berbagai penelitian sudah dilakukan untuk upaya penghematan energi. [3][4].

Selain upaya penghematan energi,

diperlukan adanya sumber tenaga alternatif untuk meminimalisir dampak negatif penggunaan Bahan Bakar Minyak (BBM), salah satunya adalah sumber tenaga alternatif Hidrogen (H₂). Hal ini dikarenakan hidrogen

merupakan sumber energi terbarukan dan tidak menimbulkan pencemaran lingkungan.

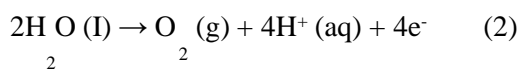
Metode produksi hidrogen terbagi dalam empat kelompok yaitu secara; kimiawi, biologis, elektrolisis, dan panas. Elektrolisis air merupakan metode yang lebih sederhana dibandingkan dengan metode lain dengan hasil relatif bersih dan lebih murni, selain itu, elektrolisis air tidak memerlukan fasilitas besar [5].

Elektrolisis dimaknai sebagai proses memecah molekul air menggunakan arus searah (arus DC) melalui elektroda katode dan anode dengan adanya elektrolit hingga menjadi molekul Hidrogen dan Oksigen. Reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut:



Molekul H₂O akan melepas Ion H⁺ yang selanjutnya direduksi di katode menjadi gas hidrogen. (H₂)

Reaksi yang terjadi pada anode adalah reaksi oksidasi sebagai berikut:



Ion O²⁻ pada proses elektrolisis akan dioksidasi di anode. menjadi gas oksigen (O₂).

Berbagai penelitian dengan tujuan untuk meningkatkan efisiensi produksi hidrogen telah diteliti, diantaranya adalah pengaruh dari parameter-parameter yang ada seperti jarak antar elektroda, efek arus, temperatur, dan basa atau asam yang digunakan [6],[7],[8]. Penelitian Chauveau et al. memaparkan bahwa temperatur uap tinggi pada proses elektrolisis merupakan salah satu cara yang efektif untuk menunjang produksi hidrogen [9]. Upaya lain untuk meningkatkan efisiensi tersebut juga bisa dilakukan dengan penambahan magnet eksternal [5].

Proses elektrolisis lebih cepat bereaksi dalam menghasilkan gas hydrogen apabila dikenai medan magnet, hal itu disebabkan karena arah dorongan gaya magnet terhadap ion yang akan menuju ke arah elektroda [9]. Pada penelitiannya, Madsen menjelaskan bahwa medan magnet dapat meningkatkan perpindahan proton yang disebut juga langkah penentuan tingkat pada proses kristalisasi. Putaran proton cukup penting dalam relasinya dengan asas Larangan Pauli, khususnya terbatas pada sub atom, seperti proton, dengan setengah putaran atau bukan bilangan bulat [10]

Medan magnet eksternal pada elektrolisis air dapat meningkatkan kemampuan desorpsi dari gelembung hidrogen, menurunkan cakupan gelembung, dan mengecilkan ukuran rata-rata gelembung yang akan menurunkan distribusi dari ukuran gelembung, sehingga secara signifikan mampu meningkatkan efisiensi energi yang ada pada produksi hidrogen menggunakan elektrolisis air dengan bantuan medan magnet [11][12].

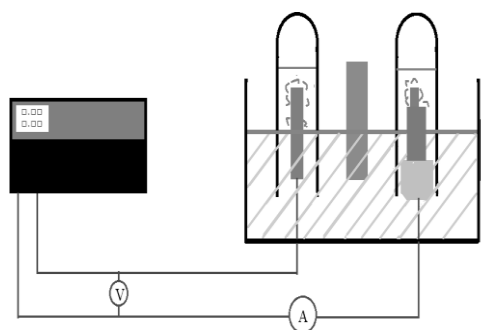
Pada elektrolisis air dengan penambahan medan magnet eksternal, Gaya Lorentz memicu terjadinya konveksi *magneto hydrodynamic* (MHD), jika medan magnet eksternal cukup besar, itu akan mempengaruhi aliran reaktan, produk atau bisa keduanya dalam reaksi elektrokimia. Pada permukaan elektroda, gelembung berperan sebagai hambatan dalam aliran dan gaya seret (*drag force*) yang disebabkan oleh efek hidrodinamik pada gelembung akan diinduksi [13].

Dari penelitian yang telah dilakukan untuk meningkatkan produksi Hidrogen pada proses elektrolisis air belum ada yang menggunakan medan magnet yang dinamis. Sehingga diperlukan penelitian untuk meningkatkan produksi Hidrogen dengan

medan magnet yang dinamis dengan arah tegak lurus katode.

METODE PENELITIAN

Skema instalasi alat penelitian dapat ditunjukkan pada gambar 1. Alat yang digunakan berupa; bak elektrolisis, katode, magnet, motor listrik, power supply, amper meter, volt meter, dan tabung penampung Hidrogen.



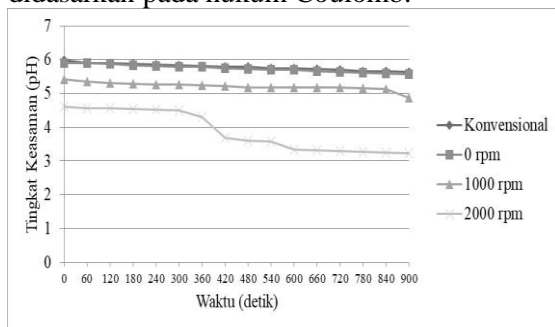
Gambar 1. Skema alat penelitian Dalam

penelitian ini digunakan 2 (dua) buah magnet dengan kekuatan 1400 Gauss dan 1 (satu) buah motor listrik sebagai pemutar untuk menghasilkan medan magnet dinamis. Putaran medan magnet pada 3 (tiga) variasi kecepatan putaran yaitu 0 rpm, 1000 rpm, dan 2000 rpm pada larutan elektrolit NaCl 0,17 M (500 ml aquades dan 5 gram kristal NaCl). Data yang didapatkan berupa pH dan arus yang terekam pada layar digital sensor, sedangkan untuk volume gas hidrogen dilihat dari tabung ukur volume. Kekuatan Arus, pH, dan volume gas hidrogen yang dihasilkan diamati dari waktu mulai generator disambungkan dengan *power supply* dengan voltase 10 V dan diambil dari tiap menit proses elektrolisis yang berlangsung selama 15 menit.

Sebuah pH meter yang telah terkalibrasi telah terpasang untuk mengetahui perubahan keasaman larutan elektrolit. Tabung ukur volume untuk mengukur volume H₂ telah terpasang dan terletak di atas elektroda. Pada pengujian pertama, dilakukan dengan kecepatan rotasi magnet pada 0 rpm (diam) dengan memasang dua buah magnet tersebut pada posisi yang sudah ditentukan yaitu di samping dan depan katode atau bisa disebut tegak lurus katode. Dengan terpasangnya semua komponen, pengambilan volume Hidrogen, arus, dan pH dapat dimulai dengan menekan tombol *power supply*.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Gambar 2. menunjukkan perubahan pH berdasarkan perubahan waktu untuk masing-masing variasi putaran medan magnet selama 15 menit. Terlihat bahwa semakin lama proses elektrolisis pH semakin turun, artinya larutan elektrolit cenderung berubah menjadi asam. Pada sisi lain, semakin cepat putaran medan magnet pH semakin turun. Nilai pH terkecil pada putaran 2000 rpm. Hal ini disebabkan semakin banyaknya jumlah ion H⁺ pada larutan elektrolit. Bertambahnya ion H⁺ ini akibat ion H⁺ pada molekul air terlepas dari ikatan Kovalen dan ikatan Hidrogen antar molekul air disebabkan adanya medan listrik dari arus listrik dan adanya medan magnet yang berfluktuasi. Adanya dua hal tersebut menyebabkan terjadinya meningkatkan laju perpindahan antar muatan ion. Sebagai konsekuensinya, jarak antara atom H dan atom O semakin renggang dan semakin melemah yang pada akhirnya terputus. Analisa ini didasarkan pada hukum Coulomb.



Gambar 2. Perubahan pH elektrolisis air

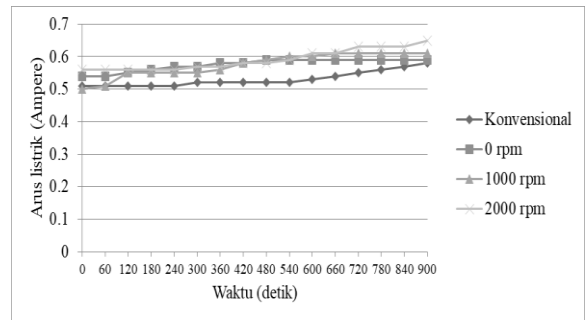
Meningkatnya fluktuasi medan magnet akibat rotasi yang semakin tinggi menyebabkan nilai pH larutan semakin turun. Kejadian ini bisa dijelaskan sebagai berikut. Semakin tinggi rotasi medan magnet menyebabkan semakin besarnya perubahan Gaya Lorentz. Ini berakibat pada semakin besarnya impuls yang ditimbulkan medan magnet. Akibatnya, kecepatan muatan dalam larutan elektrolit semakin meningkat. Secara matematis Analisa di atas bisa dijelaskan dengan persamaan berikut.

$$\vec{I} = \vec{F}\Delta t = m \Delta v \dots\dots\dots (3)$$

Dimana:

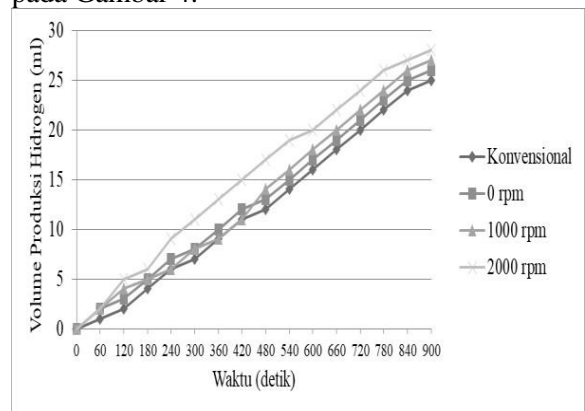
- I = impuls (N.s)
- F = gaya Lorentz (N)
- Δt = waktu gaya bekerja (s)
- m = massa (kg)
- Δv = kelajuan (m/s)

Semakin lama proses elektrolisis, kemampuan medan magnet untuk memutuskan ikatan Hidrogen semakin tinggi. Akibatnya, ion H⁺ yang terjadi akan semakin banyak, konsekuensinya larutan semakin asam. Dengan semakin asamnya larutan elektrolit, kemampuan menghantarkan arus listrik juga semakin meningkat [14]. Fenomena ini dijelaskan pada Gambar 3 Tampak pada gambar bahwa semakin besar putaran medan magnet menyebabkan densitas arus listrik meningkat secara konsisten selama proses elektrolisis dalam selang waktu 15 menit.



Gambar 3. Arus listrik proses elektrolisis

Peningkatan densitas arus listrik mengindikasikan bahwa resistensi larutan elektrolit semakin rendah, akibatnya laju densitas ion pembawa muatan listrik semakin meningkat. Dalam proses elektrolisis, pemutusan ikatan Kovalen antara Oksigen dan Hidrogen pada molekul air hanya bisa dilakukan dengan hadirnya arus listrik. Sebagai akibat semakin meningkat densitas arus listrik, maka proses pemutusan ikatan Kovalen semakin masif. Tentu dengan mudah bisa dijelaskan mengapa produksi Hidrogen semakin meningkat dengan bertambahnya putaran medan magnet sebagaimana terlihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Produksi Hidrogen

Pada Gambar 4. terlihat produksi Hidrogen paling rendah pada elektrolisis konvensional. Hadirnya medan magnet dinamis terbukti dapat meningkatkan produksi Hidrogen. Produksi Hidrogen tertinggi pada putaran medan magnet 2.000 rpm sebesar 27 ml dalam selang 15 menit.

Fenomena terputusnya ikatan Hidrogen dan Kovalen diinisiasi oleh hadirnya medan listrik yang dialirkan oleh arus listrik dari *power supply* DC. Selanjutnya, keberadaan medan magnet eksternal yang dinamis berpengaruh terhadap putaran proton molekul air. Putaran Proton Hidrogen pada molekul air awalnya bersifat *parawater*, yaitu putaran yang berlawanan antara proton Hidrogen satu dengan yang lain. Kehadiran medan magnet yang dinamis, memaksa putaran proton Hidrogen menjadi searah. Ini menyebabkan air bersifat *orthowater* yang cenderung *paramagnetic*. Perubahan sifat air yang lebih cenderung *paramagnetic* menyebabkan air sangat mudah terpengaruh oleh medan magnet yang dinamis yang pada akhirnya semakin memperlemah ikatan Hidrogen pada molekul air.

Pada penelitian ini, gaya Lorentz yang timbul diarahkan ke atas pada sisi Katode. Besarnya Gaya Lorentz yang diberikan pada partikel bermuatan bergerak di medan magnet listrik, yang dituliskan dengan;

$$\vec{F} = q\vec{E} + q\vec{v} \times \vec{B} \dots\dots\dots(4)$$

Dimana:

- F = gaya Lorentz (N)
- q = muatan bergerak (Coulomb)
- E = medan listrik (N/C)
- v = kecepatan muatan (m/s)
- B = kuat medan magnet (T)

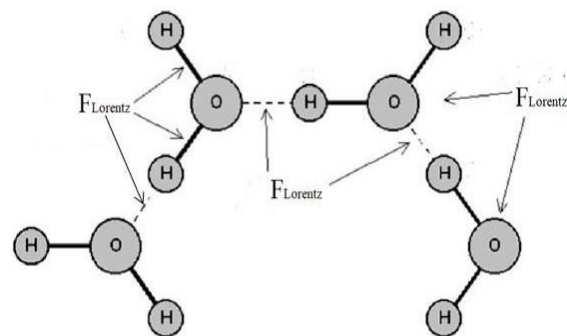
Alasan untuk menambahkan medan magnet tegak lurus pada katode adalah agar timbul Gaya Lorentz berarah ke atas. Pemilihan desain yang benar dari arah magnetik dan listrik akan menghasilkan aliran medan magnet dan listrik yang seragam dan distribusi ion yang sesuai antara elektroda, dan meningkatkan laju elektrolisis. Bisa dilihat dari persamaan (5), dimana adalah sudut yang dihasilkan antara arah v dan B. ketika arah v dan B tegak lurus gaya Lorentz yang dihasilkan sebesar

$$F = q v B \sin \theta \dots\dots\dots(5)$$

Dimana:

- F = gaya Lorentz (N)
- q = muatan (Coulomb)
- v = kecepatan muatan (m/s)
- B = kuat medan magnet (T)

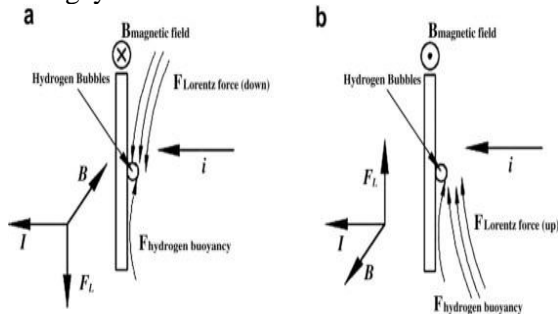
Pada kondisi v sejajar dengan B maka gaya Lorentz yang dihasilkan adalah nol. Oleh karena itu, hanya arah medan magnet yang tepat akan menghasilkan gaya Lorentz maksimal pada arah yang sesuai. Ini akan berakibat pada peningkatan fenomenakonveksi dari *magneto hydrodynamic* (MHD) dalam elektrolisis air. Untuk memberikan gambaran bagaimana kerja Gaya Lorentz memutus ikatan pada molekul air dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Ilustrasi pengaruh medan magnet eksternal terhadap molekul air

Dalam elektrolisis air dengan penambahan medan magnet eksternal, gaya Lorentz menyebabkan konveksi *magneto hydrodynamic* (MHD). Jika medan magnet eksternal yang cukup besar diterapkan, itu akan mempengaruhi aliran reaktan atau produk atau bisa keduanya dalam reaksi elektrokimia. Pada permukaan elektroda, gelembung gas Hidrogen berpotensi menjadi penghalang arus listrik sekaligus berperan sebagai hambatan dalam aliran dan gaya seret (*drag force*) yang disebabkan oleh efek hidrodinamik pada gelembung. Keberadaan potensi hambatan arus listrik dan gaya seret akan tereduksi dengan bagus Ketika medan magnet luar hadir dengan arah Gaya Lorentz searah dengan arah gelembung Hidrogen (arah ke atas). Ketika medan magnet diposisikan secara tegak lurus dengan elektroda, gaya seret dikombinasikan dengan gaya apung dan ini dapat meningkatkan sudut kontak gelembung untuk memisahkan permukaan elektroda. Efek Gaya Lorentz arah ke atas. Pada sisi lain, hal itu dapat juga meningkatkan kecepatan gelembung seperti yang dipercepat oleh konveksi MHD. Efek kombinasi ini terbukti

dapat meningkatkan laju reaksi, karena dapat bekerja dengan bagus untuk mengurangi kehilangan konsentrasi dan meningkatkan efektivitas produksi Hidrogen pada elektrolisis air. Teori gaya Lorentz dan efek daya apung ditunjukkan pada Gambar 6. Arah besaran pada gambar mengacu pada kaidah tangan kanan dari arah arus, arah medan magnet, dan menentukan arah gaya Lorentz.



Gambar 6. (a) Gaya Lorentz ke Bawah dan Gaya Angkat dan (b) Gaya Lorentz ke Atas dan Gaya Angkat pada Muatan Ion pada Elektrolisis

KESIMPULAN

Kehadiran medan magnet dinamis dengan putaran 0-2.000 rpm terbukti dapat meningkatkan produksi Hidrogen pada elektrolisis air. Putaran yang semakin meningkat menyebabkan pH larutan semakin turun sehingga memudahkan larutan untuk menghantar arus listrik, akibatnya densitas arus listrik semakin meningkat. Peningkatan densitas arus listrik menyebabkan pemutusan ikatan Kovalen dan ikatan Hidrogen pada molekul air terjadi secara lebih masif. Pada sisilain, posisi medan magnet tegak lurus dengan Katode menyebabkan Gaya Lorentz berarah ke atas. Ini mengurangi efek potensi gelembung gas Hidrogen sebagai penghalang arus listrik menuju katode. Akumulasi dari dua hal tersebut adalah semakin mudahnya ikatan Kovalen dan Ikatan Hidrogen pada molekul air untuk diputus, akibatnya produksi Hidrogen semakin meningkat. Produksi Hidrogen tertinggi pada putara medan magnet 2.000 rpm sebesar 27 ml selama 15 menit.

DAFTAR PUSTAKA

[1] Badan pusat statistik. (2017). Produksi jumlah kendaraan dalam negeri (unit, 2000-2016). Jakarta : BPS.
 [2] *Handbook of Energy & Economic Statistics of Indonesia (Final Edition)*.

2018. Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral.
 [3] S Wahyudi, et al., (2012) *Pengaruh Variasi Tebal Sudu Terhadap Kinerja Kincir Air Tipe Sudu Datar*. *Jurnal Rekayasa Mesin* 3 (2), 337-342
 [4] W Wijayanti, et al., (2016) *The calorific values of solid and liquid yields consequenced by temperatures of mahogany pyrolysis*. *ARPN J. Eng. Appl. Sci*
 [5] Kaya, M.F., et al, (2017). *Investigation of alkaline water electrolysis performance for different cost effective electrodes under magnetic field*. *International Journal of Hydrogen Energy*, 42(28), pp.17583-17592.
 [6] Nagai, N., et al., (2003). Existence of optimum space between electrodes on hydrogen production by water electrolysis. *International journal of hydrogen energy*, 28(1), pp.35-41.
 [7] De Souza, R.F., et al., (2007). Electrochemical hydrogen production from water electrolysis using ionic liquid as electrolytes: towards the best device. *Journal of Power Sources*, 164(2), pp.792-798.
 [8] Kaninski, M.P.M. et al., (2010). *Raising efficiency of hydrogen generation from alkaline water electrolysis–Energy saving*. *International Journal of Hydrogen Energy*, 35(22), pp.12369-12373.
 [9] Chauveau, F. et al, (2011). *Development and operation of alternative oxygen electrode materials for hydrogen production by high temperature steam electrolysis*. *International journal of hydrogen energy*, 36(13), pp.7785-7790.
 [10] Madsen, H.E.L., (2004). Crystallization of calcium carbonate in magnetic field in ordinary and heavy water. *Journal of Crystal Growth*, 267(1-2), pp.251-255.
 [11] Koza, J.A., et al, (2011). Hydrogen evolution under the influence of a magnetic field. *Electrochimica Acta*, 56(6), pp.2665-2675.
 [12] Purnami., et al, (2020) Enhancement of hydrogen production using dynamic magnetic field through water electrolysis, *International Journal of Energy Research* 46 (6), 7309-7319
 [13] Lin, M.Y. et al. (2012). The effect of magnetic force on hydrogen production efficiency in water electrolysis.

International Journal of Hydrogen Energy, 37(2), pp.1311-1320.

- [14] Destini, R. (2017) 'Lama Waktu Proses Fermentasi Terhadap Nilai Tegangan Listrik Pasta Limbah Kulit Durian, 1(2), pp. 16-22.

PENULIS:

Purnami
Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik
Universitas Brawijaya
Jalan Mayjen Haryono 167 Malang 65145 -
Telp (0341) 587711
Email: purnami.ftub@ub.ac.id

Eko Siswanto, Roberto Elias Sommal
Ambarita
Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik
Universitas Brawijaya
Jalan Mayjen Haryono 167 Malang 65145 -
Telp (0341) 587711