ISSN : 1693-9050

PENYIMPANAN DAN PEMANFAATAN ENERGI HIDROGEN HASIL PRODUKSI REAKTOR *ALUMINIUM CORROSION AND ELECTROLYSIS* SEBAGAI BAHAN BAKAR *INTERNAL COMBUSTION ENGINE* DAN PENGELASAN LOGAM

STORAGE AND UTILIZATION OF HYDROGEN ENERGY PRODUCTION RESULT OF ALUMINUM CORROSION AND ELECTROLYSIS REACTORS AS INTERNAL COMBUSTION ENGINE AND METAL WELDING

Erlinawati*[1], Fatria[1], Ahmad Firdaus[1], Firman Harris[1], Vidia Wati[1]
[1]Jurusan Teknik Kimia Program Studi Sarjana Terapan Teknik Energi, Politeknik Negeri Sriwijaya
Jalan Srijaya Negara Palembang, Telp. 0711-353414 fax. 0711-355918
E-mail :*erlinawati@polsri.ac.id

Abstrak

Pencemaran udara yang diakibatkan oleh gas buang kendaraan bermotor berbahan bakar hidrokarbon sudah pada kondisi yang sangat memprihatinkan. Salah satu alternatif bahan bakar pengganti bahan bakar konvensional adalah hidrogen. Metode yang digunakan untuk menghasilkan hidrogen dalam penelitian ini yaitu dengan cara elektrolisis dan reaksi korosi aluminium. Gas hidrogen dipilih sebagai bahan bakar dikarenakan gas hidrogen tidak menghasilkan emisi CO_x seperti bahan bakar hidrokarbon umumnya. Adapun penyimpanan hidrogen dengan menggunakan metode adsorpsi pada material berpori seperti karbon aktif dan zeolit untuk meningkatkan energi hidrogen yang tersimpan di storage. Energi hidrogen tertinggi dengan adsorben zeolit pada tekanan 1,7 kg/cm^2 dan temperatur 35^{o}C sebesar 9,4365 J/L dan paling rendah tanpa adsorben pada tekanan 0,25 kg/cm^2 dan temperatur 33,5^{o}C sebesar 0,9761 J/L. Adapun metode pengujian *Internal Combustion Engine* yang digunakan dalam penelitian ini yaitu dengan cara mengamati kerja yang dihasilkan oleh *Internal Combustion Engine* serta mengukur jumlah bahan bakar yang digunakan. Efisiensi kerja merupakan salah satu parameter kualitas suatu mesin konversi energi, dalam hal ini efisiensi kerja *Internal Combustion Engine*. Adapun hasil penelitian menunjukan efisiensi kerja yang dihasilkan oleh *Internal Combustion Engine* berkisar antara 25,7–28,4%. Semakin besar laju alir hidrogen maka kerja yang dihasilkan juga semakin besar.Untuk konsumsi energi tertinggi terjadi pada proses pemotongan logam baja. Hal ini dikarenakan baja memiliki tingkat kekerasan atau titik leleh yang lebih tinggi yaitu sebesar 1540°C sedangkan titik leleh aluminium 660,3°C dan besi 1538°C, untuk *spesific fuel consumption* tertinggi terjadi pada proses pemotongan aluminium. Hal ini disebabkan karena aluminium memiliki densitas yang paling kecil yaitu sebesar 2,7 gr/cm^3 dibandingkan dengan baja sebesar 7,85 gr/cm^3 dan besi sebesar 7,75 gr/cm^3.

Kata Kunci :, *Energi Hidrogen, Internal Combustion Engine, Konsumsi Energi*

Abstract

Air pollution caused by the exhaust of hydrocarbon-fueled motor vehicles is at a very poor condition. One alternative to the conventional fuel substitute fuel is hydrogen. The method used to produce hydrogen in this research is by electrolysis and corrosion reaction of aluminum. Hydrogen gas is chosen as a fuel because hydrogen gas does not produce COx emissions as common hydrocarbon fuel. The hydrogen storage by using adsorption method on porous materials such as activated carbon and zeolite to increase hydrogen energy stored in storage. The highest hydrogen energy with zeolite adsorbent at a pressure of 1.7 kg/cm^2 and a temperature of 35^{o}C of 9.4365 J/L and the lowest with no adsorbent at a pressure of 0.25 kg/cm^2 and a temperature of 33.5^{o}C of 0.9761 J/L. The method of Internal Combustion Engine testing used in this study is to observe the work produced by the Internal Combustion Engine and measure the amount of fuel used. Work efficiency is one of the quality parameters of an energy conversion engine, in this case the work efficiency of Internal Combustion Engine. The research results show the work efficiency generated by Internal Combustion Engine ranges from 25.7- 28.4%. The greater the hydrogen flow rate the resulting work is also greater. For the highest energy consumption occurs in the process of cutting steel. This is because the steel has a higher hardness or melting point of 1540°C while the melting point aluminum 660.3°C and iron 1538°C, for the highest spesific fuel consumption occurs in the aluminum cutting process. This is because aluminum has the smallest density of 2.7 gr /cm^3 compared to steel of 7.85 gr /cm^3 and iron of 7.75 gr /cm^3.

***Keywords**: Hydrogen Energy, Internal Combustion Engine, Energy Consumption*

PENDAHULUAN

Pencemaran udara yang diakibatkan oleh gas buang kendaraan bermotor pada akhir-akhir ini sudah pada kondisi yang sangat memprihatinkan dan memberikan andil yang terbesar dalam pencemaran udara secara total terutama di kota-kota besar negara berkembang. Salah satu polutan gas buang kendaraan bermotor yang ikut berpartisipasi dalam pencemaran udara adalah hidrokarbon. Di sisi lain, isu lingkungan global yang menuntut tingkat kualitas lingkungan yang lebih baik, mendorong berbagai pakar energi untuk mengembangkan energi yang lebih ramah lingkungan dan mendukung keamanan pasokan berkesinambungan, hidrogen sangat dimungkinkan menjadi alternatif bahan bakar masa depan (Siregar, 2010).

Berbagai bentuk produksi hidrogen diperoleh dari konversi bahan bakar. Konversi bahan bakar fosil (metana, propana, butana, gasoline, kerosine) menjadi hidrogen salah satunya dihasilkan melalui proses steam reforming yang memiliki produktivitas H_2 tertinggi namun menghasilkan emisi tertinggi pula (Mardiansyah, 2014). Selain itu ada alternatif lain dalam proses produksi gas hidrogen, yaitu penguraian air. Gas Hidrogen dan Oksigen yang diproduksi oleh proses penguraian air (elektrolisis) disebut *Brown Gas* (Farid, 2012). *Brown gas* sendiri sudah lama ditemukan dan digunakan pada kendaraan bermotor. Mobil berjalan dengan bahan bakar hidrogen dari air telah didesain oleh Stanley Meyer dan telah mematenkan temuannya di AS dengan nomor US Patent 4.936.961.

Teknik penyimpanan hidrogen dengan metode adsorpsi dalam material berpori seperti karbon merupakan teknik hidrogen bertekanan yang efektif dan relatif aman untuk digunakan, serta kondisi operasi yang relatif murah dan berat molekul yang rendah dari atom karbon dimana memberikan total tangki penyimpanan yang ringan sangat menjajikan untuk diaplikasikan pada sistem penyimpanan hidrogen sebagai bahan bakar terutama pada kendaraan. Solusi untuk mengatasi permasalahan penyimpanan hidrogen adalah dengan cara menyimpan hidrogen kedalam suatu material padatan berpori (Wang dan Yang, 2009, Jimenéz, dkk, 2009, dan Broom, 2011).

Zeolit merupakan material berpori yang memiliki keunggulan dengan struktur yang teratur, volume pori besar, dan porositas tinggi (Broom, 2011). Sedangkan karbon aktif memiliki luas permukaan tinggi meskipun struktur pori kurang teratur. Berdasarkan metode tersebut, maka akan dikembangan metode penyimpanan gas hidrogen dengan sistem adsorpsi pada material berpori seperti karbon aktif dan zeolit.

Internal combustion engine, merupakan mesin pembakaran dalam. Mesin pembakaran dalam mesin dimana proses pembakaran berlangsung di dalam mesin itu sendiri, sehingga gas pembakaran yang terjadi sekaligus berfungsi sebagai fluida kerja. *internal combustion engine* mempergunakan beberapa silinder yang didalamnya terdapat torak yang bergerak translasi (bolak-balik). Pada penelitian kali ini, gas hidrogen hasil proses elektrolisis dan korosi logam aluminium dimanfaatkan sebagai bahan bakar *internal combustion engine*. Pemilihan gas hidrogen dikarenakan gas hidrogen dalam pemanfaatannya tidak menghasilkan emisi CO_X seperti umumnya bahan bakar hidrokarbon.

TINJAUAN PUSTAKA

Hidrogen

Hidrogen adalah unsur kimia terkecil karena hanya terdiri dari satu proton dalam intinya. Simbol hidrogen adalah H, dan nomor atom hidrogen adalah 1. Memiliki berat atom rata-rata 1,0079 amu, sehingga menjadikannya gas paling ringan diantara gas lainnya.

Tabel 1. Sifat Fisik Hidrogen dibandingkan dengan Metana dan Iso-Oktan (300 K, 1 atm)

	H_2	CH_4	i-C_8H_{18}
Berat Molekul (g/mol)	2,016	16,043	114,236
Densitas (kg/m^3)	0,08	0,65	692
Energi pengapian minimum (mJ)	0,02	0,28	0,28
Lower Heating Value (MJ/kg)	120	50	44,3
Higher Heating Value (MJ/kg)	142	55,5	47,8
Rasio udara-bahan bakar stoikiometrik (kg/kg)	34,2	17,1	15,0
Rasio udara-bahan bakar stoikiometrik (kmol/kmol)	2,387	9,547	59,666

Sumber : Chitragar, 2016

Hidrogen memiliki titik leleh -259,14°C dan titik didih -252,87°C. Hidrogen memiliki kepadatan 0,08988 g/L, sehingga kurang padat daripada udara. Gas hidrogen (H_2) sangat mudah terbakar dan akan terbakar di udara pada rentang yang sangat luas dari konsentrasi antara volume 4 persen dan 75 persen. Entalpi pembakaran hidrogen adalah -286 kJ/mol, dan dijelaskan oleh persamaan:

$2H_{2(g)} + O_{2(g)} \rightarrow 2H_2O_{(l)}$ ΔHc= (286 kJ/mol) (Hougen,1943)

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

Hidrogen dapat dihasilkan dari berbagai sumber, seperti air, bahan bakar fosil, dan biomassa. Saat ini sekitar 95% hidrogen yang dihasilkan dari bahan baku berbasis fosil-yaitu *steam-reforming* gas alam. Belakangan ini, terdapat metode untuk menghasilkan gas hidrogen yang berasal dari reaksi aluminium dengan air elektrolit (Petrovic dan Thomas, 2008)

Adsorption Hydrogen Storage

Pada metode ini, hidrogen diadsorpsi pada permukaan bahan berpori seperti zeolit dan karbon aktif. Penyimpanan hidrogen pada material berpori dilakukan melalui metode adsorpsi, dimana material berpori berperan sebagai adsorben dan gas hidrogen berperan sebagai adsorbat. Adapun mekanisme penyimpanan hidrogen pada material berpori melibatkan proses fisisorpsi. Proses fisisorpsi merupakan mekanisme penyerapan molekul-molekul gas hidrogen pada permukaan material berpori yang terjadi secara reversible dengan kecepatan adsorp yang relatif besar. Pada proses tersebut, molekul hidrogen dapat dengan mudah teradsorb dan terlepas secara berulang tanpa kehilangan energi dan umumnya tidak ada energi aktivasi yang terlibat pada proses adsorpsi hidrogen. Hal ini menyebabkan proses adsorpsi dan desorpsi hidrogen berlangsung dengan cepat (Hirscher, 2009).

Kemudian setelah adsorben dengan adsorbat saling kontak, terjadi difusi pada permukaan adsorben. Tahap berikutnya terjadi migrasi ke dalam pori adsorben yang dilanjutkan dengan adanya pembentukan monolayer adsorbat.Pada proses penyimpanan H_2 oleh material berpori dipengaruhi oleh luas permukaan, sehingga adsorben yang memiliki luas permukaan yang besar akan sangat baik untuk menyimpan molekul-molekul hidrogen (Hirscher, 2009). Kapasitas adsorpsi material berpori dideskripsikan melalui isoterm adsorpsi. Kapasitas adsorpsi hidrogen ini menyatakan banyaknya hidrogen yang tersimpan setelah proses fisisorpsi berlangsung, dan dinyatakan dalam persen berat (% berat) ataupun dalam persen volume (%) (Hirscher, 2009).

Internal combustion engine

Sistem kerja *Internal combustion engine* dibedakan atas *Internal combustion engine* dua langkah (*two stroke*) dan empat langkah (*four stroke*). *Internal combustion engine* mempergunakan beberapa silinder yang didalamnya terdapat torak yang bergerak translasi (bolak-balik). Di dalam silinder itulah terjadi pembakaran antara bahan bakar dengan oksigen dari udara. Gas pembakaran yang dihasilkan oleh proses tersebut mampu menggerakan torak yang oleh batang penghubung (batang penggerak) dihubungkan dengan poros engkol. Gerak translasi torak tersebut menyebabkan gerak rotasi pada poros engkol dan sebaliknya gerak rotasi poros engkol menimbulkan gerak translasi pada torak. *Internal combustion engine* juga dilengkapi dengan busi dan karbuator (Beni, 2014). Busi berfungsi sebagai penghasil percikan bunga api yang akan menyalakan campuran udara dengan bahan bakar, maka *Internal combustion engine* disebut juga sebagai *Spark Ignition Engine*. Sedangkan karburator merupakan tempat pencampuran udara dan bahan bakar. Mesin bensin memiliki perbandingan kompresi sekitar 8 : 1 sampai 11 : 1 jauh lebih rendah dibandingkan dengan mesin diesel yang memiliki perbandingan kompresi sekitar 12 : 1 hingga 24 : 1 (Beni, 2014). Mesin empat langkah adalah mesin pembakaran dalam yang dalam satu siklus pembakaran terjadi empat langkah piston. Empat langkah tersebut meliputi, langkah hisap (pemasukan), kompresi, tenaga dan langkah buang yang secara keseluruhan memerlukan dua putaran poros engkol (*crankshaft*) per satu siklus pada *Internal combustion engine*.

Daya

Besarnya torsi yang dihasilkan oleh suatu mesin dapat diukur menggunakan *dynamometer* yang dikopel dengan poros *output* mesin. Oleh karena itu, sifat *dynamometer* bertindak seolah-olah seperti sebuah rem dalam sebuah mesin, maka daya yang dihasilkan poros *output* ini sering disebut sebagai daya rem (*Brake Power*).

Daya dapat dihitung dengan rumus :

$$W = \frac{2\pi . N}{\frac{60\ s}{1\ min}} . \tau \qquad \text{..... 1}$$

W = Daya keluaran (kW)
N = Putaran mesin (rpm)
τ = Torsi (N.m)
(Sumber :Heywood,1988)

Konsumsi Bahan Bakar Spesifik

Konsumsi bahan bakar spesifik (*specific fuel consumption*,sfc) adalah parameter unjuk kerja mesin

yang berhubungan langsung dengan nilai ekonomis sebuah mesin, karena dengan mengetahui hal ini dapat dihitung jumlah bahan bakar yang dibutuhkan untuk menghasilkan sejumlah daya dalam selang waktu tertentu. Bila daya rem dinyatakan dalam satuan kW dan laju aliran massa bahan bakar (*mf*) dalam satuan kg/jam, maka :

$$Sfc = \frac{mf}{W}$$

Sfc = Konsumsi bahan bakar spesifik (g/kW.h).
mf = Laju aliran massa bahan bakar (g/jam)
W = Kerja yang dilakukan mesin (kW)
(Sumber :Heywood, 1988)

Besarnya laju aliran massa bahan bakar (mf) dihitung dengan persamaan berikut:

$$mf = \frac{\rho_f x V_f}{t_f} \quad \text{..... 2}$$

ρ_f = Massa jenis bahan bakar (g/ml)
V_f = Volume bahan bakar yang diuji (ml)
t_f = Waktu untuk menghabiskan bahan bakar sebanyak volume uji (detik).
(Sumber :Heywood, 1988)

Efisiensi Kerja

Kerja berguna yang dihasilkan selalu lebih kecil dari pada energi yang di bangkitkan piston karena sejumlah energi hilang akibat adanya kerugian mekanis (*mechanical losses*). Dengan alasan ekonomis perlu dicari kerja maksimum yang dapat dihasilkan dari pembakaran sejumlah bahan bakar. Efisiensi ini sering disebut sebagai efisiensi termal *brake* (*brake thermal efficiency*, η_b) dengan rumus sebagai berikut :

$$\eta_b = \frac{W}{Q_{in}}$$

W = Kerja yang dilakukan mesin (kW)
Q_{in} = Panas yang digunakan (kW)
(Sumber :Heywood, 1988)

Laju panas yang masuk Q, dapat dihitung dengan rumus berikut:

$$Q_{in} = m \times HHV$$

m_f = Laju alir bahan bakar (kg/s)
HHV = Nilai kalor bahan bakar (kJ/kg)
(Sumber :Heywood, 1988)

Pemotongan Logam

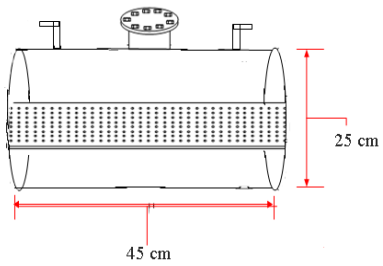
America Welding Society (AWS) mendefenisikan pemotongan logam dengan api oksi-asetilen ini adalah memisahkan bagian logam induk dengan cara reaksi kimia, yaitu reaksi antara logam dengan gas oksigen. Reaksi antara suatu logam dengan oksigen ini terjadi pada suatu suhu tertentu, yang tidak sama antara setiap jenis logam, dan suhu yang memungkinkan terjadinya reaksi itu disebut suhu nyala oksigen terhadap logam (*Oxygen Ignation*). Karena reaksi ini bersifat eksotermis, maka pada suatu logam yang telah mencapai suhu nyala oksigen diberikan oksigen murni akan terjadi kenaikan suhu yang begitu cepat, hingga dapat mencairkan logam itu setempat. Bila pemberian oksigen ini dilakukan dengan cepat (disemburkan), logam yang telah mencair ketempat ini akan terdorong lari, dan terjadi celah, dan terpotong. (Kusharjanta, 2005)

METODOLOGI PENELITIAN

Pendekatan Desain Fungsional

Pada pendekatan ini, *Hydrogen Storage* yang dibuat berfungsi sebagai tempat penyimpanan hidrogen. Tabung ini terbuat dari material *stainless steel* 316 yang didalamnya dilengkapi dengan tray berlubang. Material *stainless steel* tipe 316 secara khusus efektif pada lingkungan yang mengandung tingkat keasaman cukup tinggi dan melindungi dari korosi. Tipe 316 adalah chromium-nickel *stainless steel* yang mengandung 2-3 persen molybdenum. Kandungan molybdenum meningkatkan ketahanan terhadap korosi serta ketahanan terhadap suhu yang tinggi. *Tray* yang dibuat hanya satu buah yang diletakkan di bagian tengah *storage* yang berfungsi sebagai tempat meletakkan adsorben. Adsorben yang digunakan yaitu karbon aktif dan zeolit yang berfungsi sebagai media penyerap gas hidrogen agar dapat disimpan dalam jumlah yang lebih banyak.

Pendekatan Desain Struktural



Gambar 1. *Hydrogen Storage*

Di *storage* terdapat *tray* untuk menempatkan adsorben. Kemudian pada bagian atas storage terdapat bagian tutup storage sebagai tempat untuk memasukkan dan mengeluarkan adsorben yang berdiameter 10 cm dan tinggi 6 cm. Selain itu terdapat alat ukur tekanan berupa pressure gauge untuk mengetahui tekanan gas H_2 didalam *storage*.

Tahap Penentuan Energi Hidrogen *Storage*

Tahap penentuan energi hidrogen pada *storage*sesuai dengan penelitian yang pernah dilakukan oleh Ali pada tahun 2012, diawali dengan

menimbang massa adsorben terlebih dahulu, lalu membuka bagian head *storage* selanjutnya memasukkan adsorben diatas tray secara merata sampai setiap sisi tray terisi adsorben, setelah itu menutup bagian head *tray* dan *valve outlet storage*, kemudian memastikan tidak ada kebocoran pada *storage*, membuka *valve inlet storage*, menghidupkan kompressor, dan memulai proses pengamatan pada *storage*. Adapun data yang diambil meliputi temperatur dan tekanan gas hidrogen di *storage*.

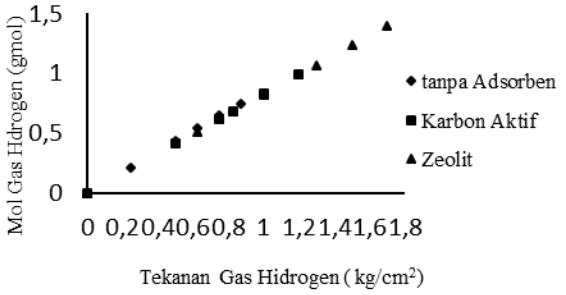
Tahap Pemanfaatan Gas Hidrogen sebagai Bahan Bakar *Internal combustion engine* dan Pengelasan

Proses pemanfaatan gas hidrogen yang digunakan sesuai dengan prosedur pada modul teknik mesin. Tahapanya diawali dengan mencatat tekanan awal gas H_2, Menghidupkan *engine*, selanjutnya mengatur bukaan *valve* keluaran *hydrogen storage*, mengatur laju alir gas hidrogen, kemudian mencatat tekanan akhir gas H_2serta mengukur putaran mesindan mengukur temperatur ruang bakar dan temperatur referens.

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Hasil Penelitian dan Pembahasan Energi Hidrogen yang Tersimpan di *Storage*

Penelitian mengenai pengaruh variasi jenis adsorben terhadap energi hidrogen yang tersimpan di *storage* dilakukan dengan menggunakan adsorben berupa karbon aktif dan zeolit. Pada penelitian *storage* sebelum dan setelah melalui adsorben dapat diketahui bahwa gas hidrogen setelah melalui adsorben menghasilkan mol gas hidrogen yang lebih besar. Hubungan tekanan *storage* terhadap jumlah mol gas hidrogen dapat dilihat pada Gambar 2.

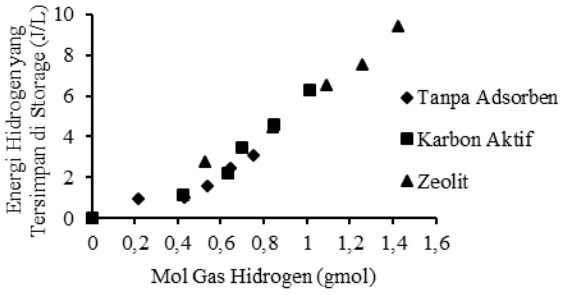


Gambar 2. Hubungan Tekanan Gas Hidrogen terhadap Mol Gas Hidrogen

Dari Gambar 2 hubungan tekanan gas hidrogen terhadap mol gas hidrogen, dapat dilihat bahwa semakin besar tekanan gas hidrogen maka semakin besar mol gas hidrogen, kondisi tersebut sesuai dengan persamaan gas ideal yang menjelaskan bahwa tekanan berbanding lurus dengan mol artinya mol suatu gas di tambahkan dalam suatu wadah yang volumenya tetap, dapat meningkatkan tekanan di dalam wadah tersebut.

Berdasarkan gambar diatas, terlihat bahwa semakin besar tekanan gas hidrogen maka semakin besar pula mol gas hidrogen yang dihasilkan. Hal ini disebabkan karena besarnya partikel partikel gas bergerak hingga menumbuk dinding *storage*. Tumbukan partikel gas dengan dinding *storage* akan menghasilkan tekanan. Peristiwa ini sesuai dengan teori kinetik pada gas yang berupaya menjelaskan sifat-sifat makroscopik gas, seperti tekanan, suhu, atau volume, dengan memperhatikan komposisi molekular mereka dan gerakannya. Intinya, teori ini menyatakan bahwa tekanan tidaklah disebabkan oleh denyut-denyut statis di antara molekul-molekul, seperti yang diduga Isaac Newton, melainkan disebabkan oleh tumbukan antarmolekul yang bergerak pada kecepatan yang berbeda-beda.

Mol gas hidrogen berpengaruh terhadap energi hidrogen yang tersimpan di *storage*. Semakin besar mol gas hidrogen, maka semakin besar pula energi hidrogen yang tersimpan di *storage*. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Hubungan Mol Gas Hidrogen terhadap Energi Hidrogen yang Tersimpan di *Storage*

Dari Gambar 3 hubungan antara mol gas hidrogen terhadap energi hidrogen yang tersimpan di storage, dapat dilihat bahwa semakin besar mol gas hidrogen, maka semakin besar pula energi hidrogen yang tersimpan di storage. Kondisi tersebut sesuai dengan persamaan $dQ= n x Cp x \Delta t$ yang menjelaskan bahwa banyaknya energi yang dihasilkan berbanding lurus dengan mol gas artinya mol suatu gas di tambahkan dalam suatu wadah yang volumenya tetap, dapat meningkatkan energi gas di dalam wadah tersebut. Mol gas hidrogen 1,4247 gmol menghasilkan energi hidrogen yang lebih besar dibandingkan mol gas hidrogen 0,2168 gmol, yaitu energi hidrogen tertinggi pada adsorben zeolit dengan mol gas hidrogen 1,4247 gmol sebesar 9,4365 J/L dan paling rendah tanpa adsorben dengan mol gas hidrogen 0,2168 gmol sebesar 0,9761 J/L. Menurut Wang dan Yang (2009), material adsorben yang bagus digunakan sebagai bahan penyimpan hidrogen adalah material yang memiliki luas permukaan tinggi

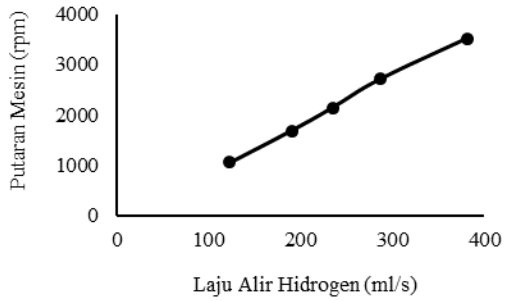
dan porositas tinggi. Menurut Broom (2011), porositas zeolit lebih tinggi dibandingkan karbon aktif.

2. Hasil Penelitian dan Pembahasan Efisiensi *Internal Combustion Engine*

Hasil pengamatan yang telah didapat diarahkan untuk melihat pengaruh laju alir hidrogen terhadap kerja *internal combustion engine* serta melihat efisiensi kerja *internal combustion engine* pada laju alir hidrogen tertentu.Penelitian ini dilakukan pada alat *internal combustion engine* dengan tujuan untuk mengaplikasikan gas hidrogen hasil proses *Aluminium Corrosion & Electrolysis* secara langsung sebagai bahan bakar yang ramah lingkungan. Tinjauan perhitungan berorientasi kepada pengaruh laju alir gas hidrogen sebagai bahan bakar terhadap kerja yang dihasilkan *internal combustion engine* serta menghitung efisiensi kerja yang dihasilkan oleh *internal combustion engine*.

Pengaruh Hubungan Laju Alir Hidrogen terhadap Putaran Mesin

Hasil pengujian *Internal Combustion Engine* dilihat dari pengaruh laju alir hidrogen sebagai bahan bakar terhadap putaran mesin yang dihasilkan dapat dilihat pada gambar berikut:

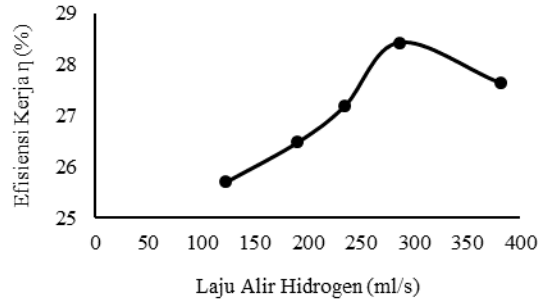


Gambar 4. Pengaruh Hubungan Laju Alir Hidrogen dengan Putaran Mesin

Dari Gambar 4 menunjukkan pengaruh laju alir hidrogen terhadap signifikan bahwa semakin besar laju alir gas hidrogen yang digunakan sebagai bahan bakar *internal combustion engine* akan menghasilkan putaran *internal combustion engine* yang semakin besar pula. Pengukuran laju alir gas hidrogen didapat melalui perhitungan akibat adanya perbedaan tekanan antara tekanan awal *storage* sebelum *valve* dibuka ,tekanan akhir setelah *valve* dibuka serta waktu yang ditempuh hingga didapat tekanan akhir. Data putaran mesin (rpm) berfungsi sebagai parameter kerja yang dihasilkan oleh *internal combustion engine* tersebut. Pengamatan ini perlu dilakukan untuk meninjau seberapa besar kerja yang dihasilkan *internal combustion engine* terhadap energi yang digunakan oleh *internal combustion engine* tersebut.

Pengaruh Hubungan Laju Alir Hidrogen terhadap Efisiensi Kerja

Hasil pengujian *Internal Combustion Engine* dilihat dari pengaruh laju alir hidrogen sebagai bahan bakar terhadap efisiensi kerja yang dihasilkan oleh *Internal Combustion Engine* dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 5. Pengaruh Hubungan Laju Alir Hidrogen dengan Efisiensi Kerja

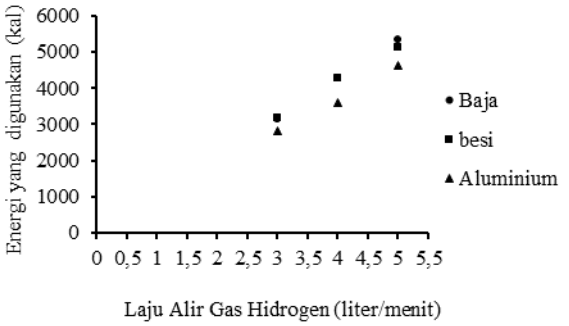
Pada Gambar 5 menunjukkan pengaruh hubungan laju alir gas hidrogen terhadap efisiensi kerja yang dihasilkan oleh *internal combustion engine*. Dari gambar terlihat bahwa efisiensi kerja meningkat dari laju alir 123 ml/s hingga 286 ml/s dan menurun pada laju alir 381 ml/s. Fungsi pengukuran efisiensi kerja terhadap laju alir gas hidrogen berfungsi untuk melihat kerja maksimal yang dihasilkan *internal combustion engine* terhadap energi yang dikonsumsi nya. Berdasarkan perhitungan, terlihat bahwa efisiensi kerja terbaik terdapat pada laju alir hidrogen 286 ml/s dimana pada laju alir tersebut dihasilkan putaran poros engkol sebesar 2718 rpm. Pada laju alir hidrogen 123 ml/s dan 190 ml/s lebih rendah efisiensi kerja nya dikarenakan pada *engine* diperlukan energi yang lebih besar untuk gerak mula-mula poros engkol serta piston pada *engine* dibandingkan dengan laju alir 286 ml/s. Dengan kata lain bahwa pada laju alir 123 ml/s dan 190 ml/s laju alir bahan bakar hidrogen kurang efisien bila dibandingkan dengan laju alir 286 ml/s. Menurut Beni dan Sitorus (2014), kenaikan putaran mesin pada beban konstan cenderung meningkatkan efisiensi thermal brake, untuk beban konstan daya efektif yang dihasilkan relatif konstan dan kenaikan putaran mesin akan mempersingkat waktu proses pencampuran bahan bakar- udara, sehingga pembakaran yang terjadi lebih kecil. Laju alir hidrogen sebesar 381 ml/s mengalami penurunan efisiensi kerja dibandingkan dengan 286 ml/s dikarenakan pada laju alir tersebut energi yang diberikan untuk menggerakkan poros engkol telah melebihi energi yang seharusnya disuplai serta dapat disebabkan putaran mesin telah mendekati kemampuan maksimal *engine* tersebut.

3. Hasil Penelitian dan Pembahasan Konsumsi Energi Hidrogen pada Pemotongan Logam

Berdasarkan hasil penelitian pada peralatan produksi gas hidrogen melalui proses elektrolisis yang telah dirancang untuk menghasilkan gas hidrogen yang selanjutnya dimanfaatkan sebagai bahan bakar pemotongan logam yang berbeda-beda jenis seperti aluminium, baja, dan besi, maka diperoleh nilai konsumsi energi dari proses pemotongan logam aluminium yang dapat dilihat pada gambar berikut:

Hubungan Laju Alir Gas Hidrogen Terhadap Energi yang Digunakan

Hasil pengujian pemotongan logam dilihat dari pengaruh laju alir gas hidrogen sebagai bahan bakar terhadap energi yang digunakan dapat dilihat pada gambar berikut:

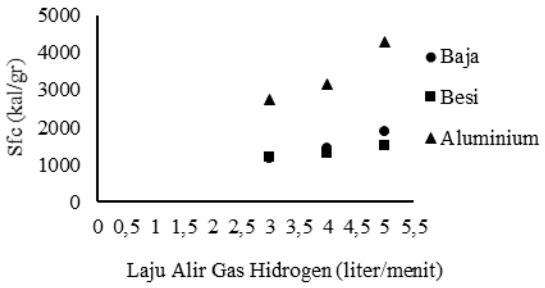


Gambar 6. Hubungan Laju Alir gas H_2 dengan Energi yang Digunakan

Pada Gambar 6 menunjukkan pengaruh laju alir hidrogen terhadap energi yang digunakan. Energi yang digunakan akan mengalami peningkatan seiring bertambahnya laju alir. Berdasarkan Gambar 6 diatas untuk logam aluminium saat digunakan laju alir sebesar 3 liter/menit nilai energi yang digunakan sebesar 2826,7376 kalori, kemudian saat laju alir gas hidrogen dinaikkan sebesar 4 dan 5 liter/menit nilai energi yang digunakan sebesar 3591,3287 dan 4643,1143 kalori. Pada logam baja dan besi tidak mengalami perbedaan yang signifikan pada nilai energi yang digunakan. Hal ini dikarenakan logam baja dan besi memiliki perbedaan nilai kekerasan yang tidak terlalu jauh. Nilai energi yang digunakan juga dipengaruhi oleh mol gas hidrogen, semakin besar mol gas hidrogen maka akan semakin besar pula nilai energi yang digunakan.

Hubungan Laju Alir Gas Hidrogen Terhadap *Specific Fuel Consumption*

Hasil pengujian pemotongan logam dilihat dari pengaruh laju alir gas hidrogen sebagai bahan bakar terhadap *Spesific Fuel Consumption* dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 7. Hubungan Laju Alir gas H_2 dengan *Spesific Fuel Consumption*

Konsumsi bahan bakar spesifik (sering disingkat SFC) menyatakan laju konsumsi bahan bakar pada pemotongan, yang pada umumnya dinyatakan dalam jumlah massa bahan bakar per satuan keluaran daya. Pada Gambar 12 tersebut menunjukkan nilai *Specific Fuel Consumption (SFC)* pada tiga jenis logam yaitu logam aluminium sebesar 4299,1799, 3166,9566, dan 2755,1048 kal/gr, logam baja sebesar 1883,8500, 1435,9358, dan 1178,1890 kal/gr, kemudian nilai SFC logam besi sebesar 1503,5002, 1313,6832, dan 1198,6354 kal/gr. Nilai SFC yang digunakan akan mengalami peningkatan seiring bertambahnya laju alir, Selain itu densitas logam juga berpengaruh terhadap nilai SFC. Semakin kecil densitas suatu logam maka akan semakin besar nilai SFC yang dihasilkan kemudian sebaliknya semakin besar densitas suatu logam maka akan semakin kecil nilai SFC yang dihasilkan. Hal ini dikarenakan densitas akan mempengaruhi massa logam yang digunakan. Berdasarkan nilai SFC diatas logam aluminium yang memiliki densitas yang paling kecil yaitu 2,7 gr/cm^3 memiliki nilai SFC yang paling tinggi jika dibandingkan dengan baja dan besi yang mempunyai densitas lebih besar yaitu sebesar 7,78 gr/cm^3 dan besi sebesar 7,75 gr/cm^3.

SIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan :

1. Semakin besar mol gas hidrogen, maka semakin besar energi hidrogen yang tersimpan di storage. Mol gas hidrogen 1,4247 gmol menghasilkan energi hidrogen yang lebih besar dibandingkan mol gas hidrogen 0,2168 gmol, yaitu energi hidrogen tertinggi pada adsorben zeolit dengan mol gas hidrogen 1,4247 gmol sebesar 9,4365 J/L dan paling rendah tanpa adsorben dengan mol gas hidrogen 0,2168 gmol sebesar 0,9761 J/L.
2. Suplai bahan bakar hidrogen berpengaruh terhadap kerja yang dihasilkan oleh *Internal Combustion Engine*. Semakin besar laju alir bahan bakar hidrogen yang digunakan, maka kerja yang dihasilkan oleh *Internal Combustion Engine* juga semakin besar pula, dan sebaliknya. Laju alir bahan bakar hidrogen juga berpengaruh

pada efisiensi kerja *Internal Combustion Engine* yang mana berdasarkan perhitungan, efisiensi kerja terbaik *Internal Combustion Engine* terdapat pada laju alir hidrogen sebesar 286 ml/s. Hal ini dikarenakan pada laju alir gas hidrogen tersebut menghasilkan kerja yang lebih maksimal dibandingkan dengan laju alir hidrogen lainnya. Efisiensi *Internal Combustion Engine* yang dihasilkan pada laju alir gas hidrogen tersebut yakni sebesar 28,43%.

3. Semakin besar densitas suatu logam maka nilai *Spesific Fuel Consumption* (SFC) akan semakin kecil, sebaliknya semakin kecil densitas suatu logam maka akan semakin besar nilai SFC pada pemotongan logam tersebut.Konsumsi energi hidrogen pada pemotongan logam baja adalah yang paling tinggi yaitu sebesar 5352 kal, sedangkan pada besi 5126 kal dan pada aluminium sebesar 4643 kal

DAFTAR PUSTAKA

Ali, Jauhari. 2012. Pengembangan Adsorben Hydrogen Storage untuk Aplikasi Fuel Cell dalam Bentuk Padatan Partikel Nano Karbon dengan Bahan Pengikat Likuida Lignoselulosa, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia.

Beni, E., & Sitorus, B.T. 2014. " Pengaruh Pengunaan Hidrogen Sebagai Campuran Bahan Bakar Premium Pada Performansi Mesin Otto". Jurnal Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Sumatra Utara.

Broom, Alam. 2011, *Hydrogen Storage Materials The Characterissation of Their Storage Properties*, Springers, London.

Chitragar, P.R., Shivaprasad, K.V., Kumar, G.N. 2016. "Use of Hydrogen in Internal Combustion Engines: A Comprehensive Study". Jurnal Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Dilla University, Ethiopia.

Farid, R.M., Soehartanto, T., Suprapto. 2012. "Perancangan dan Pembuatan Alat Pemproduksi Gas Brown dengan Metode Elektrolisis Berskala Laboratorium" Jurnal Teknik Pomits Vol. 1, No.1, (2012) 1-4.

Heywood, John B. (1988). *Internal Combustion Fundamentals*. Massachusetts: Mc Graw Hills.

Hirscher, Michael. 2009. *Handbook of Hydrogen Storage: New Materials for Future Energy Storage*. WILEYVCH Verlag GmbH and Co. KGaA, Germany

Jimenéz, Vicente, Paula Sanchez, Jose Antonio Diaz, Jose Luis Valverde, and Amaya Romero, 2009, *Hydrogen Storage Capacity on Different Carbon Materials*, Chemical Physics Letters 485.

Kusharjanta, Bambang. 2005. *Pemotongan Plat Baja dengan Gas Cutting Machine*, Jurnal Mekanika, Volume 3 Nomor 2, Januari 2005.

Mardiansyah. 2014. "Produksi Hidrogen Melalui Metoda Elektrolisis Plasma Pada Larutan KALIUM HIDROKSIDA-Metanol" Jurnal Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia.

Petrovic, John. & George, Thomas. 2008. "Reaction of Aluminium with Water to Produce Hydrogen" Jurnal U.S.Department of Energy, United States of America.

Siregar, Yusraini Dian Inayati. 2010. "Produksi Gas Hidrogen dari Limbah Aluminium". Jurnal Kimia, Fakultas Sains dan Teknologi, UIN Syarif Hidayatullah Jakarta.

Wang, Lifeng., & Yang, Ralph T. 2009. *Hydrogen storage properties of N-doped microporous carbon*, Journal of Physics Chemistry, Volume 113, pp. 21883 – 21888.